

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**ANALISIS SISMICO COMPARATIVO
DE ESTRUCTURAS DE ALBAÑILERIA**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

LUIS FELIPE YAFAC VILLANUEVA

LIMA - PERU

1995

INDICE:

| | pag. |
|---|-------|
| INTRODUCCION | 1 |
| | |
| 1 - CARACTERISTICAS DE LAS EDIFICACIONES DE ALBANILERIA | 3 |
| 1.1 Sistemas Aporticados y Sistemas de Muro portante | 3 |
| 1.2 Estructuración | 6 |
| 1.3 Materiales | 9 |
| 1.4 Cargas | 20 |
| | |
| 2 - METODOS DE ANALISIS | 24 |
| 2.1 Análisis Estático con Modelos de Acoplamiento Cercano | 24 |
| 2.2 Análisis Estático con Modelos de Acoplamiento Lejano | 29 |
| 2.3 Análisis Dinámico con Modelos de Acoplamiento Lejano | 41 |
| | |
| 3 - COMPARACION DE METODOS DE ANALISIS | 45 |
| 3.1 Modelos utilizados | 45 |
| 3.2 Métodos de análisis sísmicos utilizados | 47 |
| 3.3 Efectos de la variación de rigidez | 49 |
| 3.4 Estructuras simétricas bajo la acción de fuerzas excéntricas | 75 |
| 3.5 Efectos de la excentricidad en edificios de planta no simétrica | 93 |
| 3.6 Efectos de la irregularidad de la rigidez en dirección vertical | 109 |
| 3.7 Efectos de la irregularidad en las alturas de entrepiso | 124 |
| 3.8 Conclusiones | 138 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 4 - | COMPARACION DE RESULTADOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES | 140 |
| 4.1 | Descripción de las edificaciones estudiadas | 140 |
| 4.2 | Estimación teórica del periodo fundamental | 144 |
| 4.3 | Medición de los periodos fundamentales | 148 |
| 4.4 | Análisis de los resultados | 156 |
| 4.5 | Conclusiones | 159 |
| 5 - | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 160 |
| ANEXO A : | Hoja de Cálculo para el análisis estático con modelos de acoplamiento cercano. | 163 |
| ANEXO B : | Cálculo del Período T por el Uniform Building Code (UBC) para los edificios de albañilería Santa Rosa y Tupac Amaru. | 166 |
| ANEXO C : | Resultados de las mediciones realizadas con el equipo Microtremor en los edificios de albañilería Santa Rosa y Tupac Amaru. | 169 |
| ANEXO D : | Planos de planta típica de arquitectura de los edificios de Santa Rosa y Tupac Amaru. | 176 |
| | BIBLIOGRAFIA | 179 |

INTRODUCCION

En nuestro país desde hace muchos años se han construido estructuras para viviendas hechas básicamente con adobe, ladrillo y concreto armado. El adobe, por su mal comportamiento durante los sismos, se usa únicamente en viviendas de un piso en el medio rural. La albañilería de ladrillo se usa en estructuras de 1 a 5 pisos ; y para alturas mayores se usan estructuras aporticadas de concreto armado con tabiquería de ladrillo como elementos de cierre.

En los últimos años se han realizado importantes avances en la investigación de la albañilería de ladrillo, sea armada o confinada, lo cual ha permitido que en la actualidad se diseñen y construyan edificaciones de albañilería de hasta 5 pisos, donde los muros de ladrillo constituyen la estructura principal. Estas edificaciones, mayormente, forman parte de un conjunto habitacional o de una urbanización.

El proceso de urbanización es uno de los aspectos más importantes que se debe afrontar hoy en día; se ha demostrado que se acerca a una solución de costo mínimo cuando las densidades son del orden de 400 a 600 habitantes por hectárea. Estas densidades exigen unidades habitacionales en edificios de albañilería de 4 a 5 niveles; por lo tanto se debería dar mayor énfasis al estudio de estas edificaciones de hasta 5 pisos ubicadas en áreas sísmicas.

El concepto clásico de los denominados muros portantes de cargas verticales, debe ser enriquecido por el concepto global de que también son portantes de cargas de sismos y que diseñando para ambos estados de carga se consigue el resultado adecuado.

En la presente tesis se estudian algunos métodos que se utilizan para analizar el comportamiento sísmico de edificios de albañilería de 1 a 5 pisos. Generalmente se realiza el análisis sísmico por métodos simplificados que consideran a los

diversos pisos como independientes unos de otros : Métodos de análisis con modelos de acoplamiento cercano.

En la actualidad, con el uso de las computadoras personales, se pueden hacer análisis más exactos de modo tal de poder optimizar el diseño de los elementos estructurales. Uno de estos métodos es el método de análisis con modelos de acoplamiento lejano, pseudo tridimensional, ya sea estático o dinámico.

En la primera parte de este trabajo se estudian las características de las edificaciones de albañilería en cuanto a estructuración, materiales y cargas o acciones externas.

En la segunda parte se detalla el tema de los métodos de análisis sísmico : Método de acoplamiento cercano, método de acoplamiento lejano estático y método de acoplamiento lejano dinámico.

En la tercera parte se presentan resultados de diferentes modelos analizados por métodos de acoplamiento cercano y de acoplamiento lejano estático y dinámico, variando en dichos modelos parámetros de rigidez y de masa (longitud de muros, número de pisos, densidad de muros, altura y excentricidad).

Finalmente en la cuarta parte se analizan estructuras reales de albañilería y se presentan los resultados de mediciones hechas en estos edificios. Luego se comparan con los resultados obtenidos del análisis sísmico pseudo tridimensional y se dan conclusiones y recomendaciones.

CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA

1.1 SISTEMAS APORTICADOS Y SISTEMAS DE MURO PORTANTE

Generalmente cuando se trata de edificios de 4 ó 5 pisos, son factibles dos sistemas estructurales : Un sistema flexible en la disposición de las áreas está basado en estructuras aporticadas (vigas y columnas) fig. 1.1.1 . El otro sistema, en el que la distribución de áreas es inamovible, es la estructura de muros portantes, fig. 1.1.2 , en ésta el muro cumple las funciones de resistencia, cierre y división .

La experiencia demuestra, en el caso de edificaciones de vivienda, que las estructuras de muros portantes constituyen la solución más económica ; existe evidencia en el Perú de economías del orden de 25 % en el costo total de la edificación cuando se usan estructuras de muros portantes en lugar de estructuras aporticadas.

La preferencia de las estructuras de muros portantes se basa en que la albañilería es un material estructural cuya fabricación demanda un bajo consumo de energía , que requiere considerable cantidad de mano de obra de especialización media que puede elaborarse a partir de materias primas diversas como son arcilla, cal, cemento , obtenibles en cualquier lugar del país.

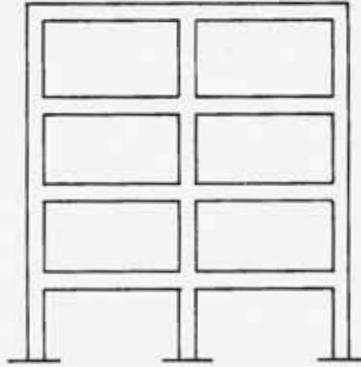


Fig. 1.1.1 Estructura Aporticada

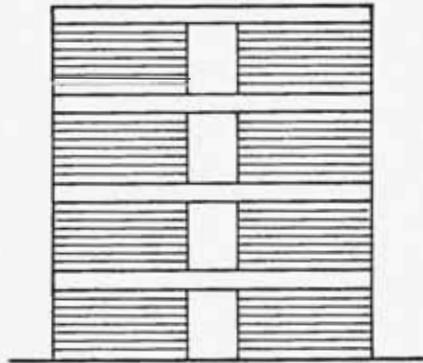


Fig. 1.1.2 Estructura de Muro Portante

FIG. 1.1 - SISTEMAS ESTRUCTURALES

Desde el año 1977 se exige en el Reglamento Nacional de Construcciones del Perú (RNC) que las construcciones de albañilería sean diseñadas por métodos racionales señalando los requisitos que deben cumplirse y las propiedades estructurales de la albañilería deducidas a partir de sus componentes (la unidad de albañilería , el mortero y la mano de obra) . Luego, en el año 1982, se elabora la Norma de Albañilería E-070 por el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda del Perú (ININVI)

1.2 - ESTRUCTURACIÓN

La estructura típica de los edificios de albañilería está compuesta de muros ubicados en dos direcciones ortogonales unidos por los entrepisos y el techo de concreto armado. Así, en este sistema estructural la fuerza sísmica, representada por fuerzas laterales derivadas del cortante basal aplicadas en cada entrepiso y el techo, es resistida por un mecanismo de muros de corte conectados por diafragmas que se suponen indeformables, capaces de resistir dichas fuerzas laterales en proporción a las rigideces relativas de los muros.

Se deben cumplir ciertas condiciones básicas para asegurar el buen comportamiento sismo resistente de estas edificaciones a nivel de concepción estructural para luego definir las principales características de la estructura como son la forma, la ubicación y distribución de los muros, y las características de los diafragmas rígidos.

Forma

El edificio debe poseer simetría, continuidad, robustez y capacidad torsional. En lo posible se deben evitar edificios en forma irregular (en L, T, U, +) y en todo caso se debe subdividir el edificio en formas regulares que pueden responder independientemente. En el capítulo 3 se estudia la influencia de la variación del centro de masa (por formas irregulares)

Distribución de muros

Es ideal que la cantidad de muros sea igual en las dos direcciones principales de la edificación, y adicionalmente, que los muros sean del mismo largo. En el capítulo 3 se verá la influencia de la variación de la longitud de muros. De otro

lado, su ubicación en planta debe buscar simetría de distribución con el propósito de minimizar la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez, ya que es indudable que los fenómenos de torsión tienen una mayor importancia de la que se les ha dado hasta ahora. También el capítulo 3 se considera la influencia de lo antes mencionado.

Espesor del Muro de Albañilería

Dependiendo de la calidad de los ladrillos, la del mortero, la densidad de muros en la planta de la edificación y el diseño adecuado de los mismos se ha podido reducir los espesores de los muros, permitiendo economías importantes y dejando de lado el criterio de que los muros portantes son necesariamente de 24 cm. de espesor.

Para albañilería confinada, los espesores de los muros portantes pueden ser de soga (14 cm), ó de cabeza (24 cm). Se debe tener en cuenta que el tarrajeo de 2 cm. hecho con mortero también puede influir en la resistencia del muro, pero en la etapa de diseño no se debe tener en cuenta por diversos factores (mala calidad de mano de obra ó de materiales) y sólo se debe considerar como incremento de peso de la edificación.

Para albañilería armada, los espesores de los muros resistentes son de 15 cm (ó menos) y lo que varía es el área del acero de refuerzo. Con esto se adquieren algunas ventajas sobre la albañilería confinada como son : más área útil, menor peso del edificio, menos fuerza sísmica y menos unidades de albañilería.

Losa de Entrepiso

Ante acciones sísmicas, las losas de entrepiso actúan como diafragmas o vigas horizontales de gran rigidez y deben amarrar al conjunto de muros y distribuir las fuerzas laterales a los mismos en función de su rigidez relativa, para lo cual deben poseer los atributos de simetría, robustez y continuidad. Para que se logre el buen funcionamiento de los diafragmas, es necesario que las aberturas en las losas, que son inevitables para la circulación vertical, se ubiquen de modo tal que no desmejoren los atributos antes mencionados.

La losa ó diafragma de entrepiso puede ser unidireccional (nervada ó aligerada), ó multidireccional (maciza); siendo preferible la losa maciza porque es potencialmente un mejor diafragma horizontal y porque transmite carga de gravedad a todos los muros de albañilería, dándoles una precompresión útil para resistir las tracciones que originaran las fuerzas sísmicas.

Altura de Entrepiso y Número de Pisos

Generalmente la altura de entrepisos para edificaciones de albañilería destinadas a viviendas son de 2.4 a 2.6 metros en promedio, siendo a veces de mayor altura en el primer piso.

El número de pisos para albañilería confinada pueden llegar hasta 5 pisos usando muros de soga y de cabeza ; en albañilería armada se han hecho edificios de hasta 6 pisos usando muros de sólo 12 cm. de espesor.

1.3 - MATERIALES

1.3.1 - LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de edificaciones de albañilería. La variedad de unidades es grande : de arcilla (con moldeo artesanal ó industrial) , sílico-calcáreo y bloques de concreto.

Tres son las propiedades que definen la calidad de la unidad de albañilería : la resistencia a la compresión (f_b) , la variabilidad dimensional y la succión.

La resistencia a la compresión de la unidad de albañilería (f_b) es su propiedad más importante, desde el punto de vista estructural, que condicionará directamente a la de la albañilería (f_m).

La variabilidad dimensional condiciona el espesor de la junta de mortero, es decir define la altura de las hiladas (se debe tener en cuenta que cada aumento de 3 mm. en la junta horizontal, sobre lo estrictamente necesario, reduce la resistencia a la compresión de la albañilería en 20 %)

Por su tipología, existen 4 tipos de unidades de albañilería (fig. 1.2) : Unidades Sólidas (ladrillos macizos tradicionales ó con alveolos perpendiculares a la cara de asiento que no excedan el 25% de área de la sección bruta) , Unidades Huecas (el área alveolar excede el 25% del área bruta y los alveolos se pueden llenar con concreto líquido) , Unidades Perforadas (tiene más de 25% del área bruta ocupada por alveolos pero éstos son tan reducidos que no pueden llenarse con concreto líquido) y Unidades Tubulares (poseen alveolos paralelos a la cara de asiento).

Por la buena adherencia observada en múltiples ensayos, se recomienda emplear unidades de arcilla con un máximo de 33% de perforaciones en su cara de asentado, regándolas un día antes de asentarlas de modo que la succión no sea mayor a 20 ni menor a 10 g/min/200cm² . (San Bartolomé A, , 1990).

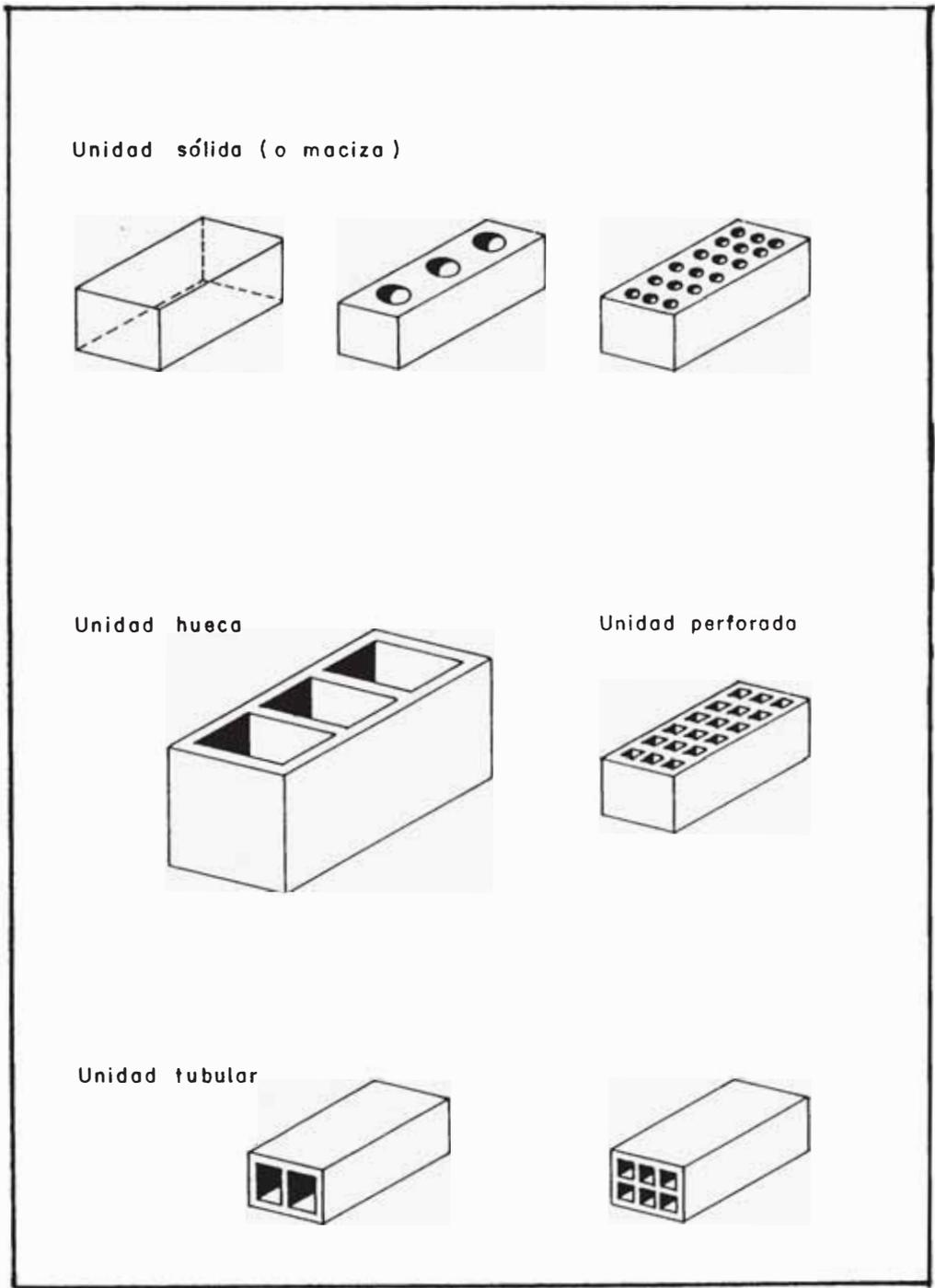


FIG 1.2 - TIPOS DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA

Respecto a la succión, conviene señalar que la mayor adherencia con el mortero se logra cuando el núcleo del ladrillo está saturado y la superficie está relativamente seca.

La Norma ITINTEC 331.018 establece las siguientes especificaciones para el ladrillo de arcilla

TABLA 1.1 - CLASIFICACION ITINTEC - LADRILLO DE ARCILLA

| TIPO | Propiedades Obligatorias Estructurales | | | | Propiedades Opcionales para Durabilidad | | |
|------------|---|--------------|---------------|-------------------------|---|------------------|----------------------------|
| | Variación de la Dimensión (máxima en %) | | | Alabeo (max en mm.) | Resistencia Característica a la Compresión* | Absorción máxima | Coefficiente de saturación |
| | Hasta 10 cm. | Hasta 15 cm. | Más de 15 cm. | o concavidad convexidad | (mínimo MPa) | (máximo en %) | (máximo) |
| I | 8 | 6 | 4 | 16 | 4 | sin límite | sin límite |
| II | 7 | 6 | 4 | 4 | 7 | sin límite | sin límite |
| III | 5 | 4 | 3 | 6 | 10 | 25 | 0.90 |
| IV | 4 | 3 | 2 | 4 | 15 | 22 | 0.88 |
| V | 3 | 2 | 1 | 2 | 20 | 22 | 0.88 |
| VI | 3 | 2 | 1 | 2 | 25 | 20 | 0.85 |

* Medida sobre el área bruta para unidades sólidas y tubulares y sobre el área neta para unidades huecas y perforadas.

Notas

- La variación de las dimensiones se aplican para cada una de las medidas de ladrillo y está referida a las dimensiones nominales.
- El alabeo se aplica para concavidad y convexidad.

ABSORCION : Es una medida normalizada, de la cantidad de agua absorbida por un ladrillo sumergido en agua durante 24 horas. La absorción máxima es una medida normalizada de la cantidad de agua absorbida por un ladrillo sumergido en agua mantenida en ebullición durante 5 horas.

- **COEFICIENTE DE SATURACION** : Es la relación absorción/absorción máxima. Este coeficiente es un índice de la resistencia del ladrillo al intemperismo., a mayor coeficiente menos durabilidad.

En el Perú se fabrican ladrillos de arcilla de diferentes tipos (clasificación en base a propiedades obligatorias) ya sea en forma artesanal o industrial. En las tablas 1.2 y 1.3 se presentan características de algunos ladrillos de arcilla fabricados en diversas ciudades del Perú y de Lima Metropolitana :

TABLA 1.2
CLASIFICACION ITINTEC

| CIUDAD | Artesanal | Industrial |
|----------------------|----------------------|------------|
| Arequipa | II | V |
| Cajamarca | I y II | - |
| Cuzco | II y III | - |
| Chiclayo, Piura, Ica | II | - |
| Chimbote, Tacna | I y II | - |
| Huancayo | I | V |
| Huaraz | No alcanza Clasific. | - |
| Iquitos | I | - |
| Juliaca, Puno | II | - |
| Lima | III | IV y V |
| Pucallpa | III | - |

TABLA 1.3 - VARIABILIDAD EN LA CALIDAD DE LADRILLOS PRODUCIDOS EN

LA CIUDAD DE LIMA (Tesis de E. Sánchez B. - 1992)

| Ladrillera | Tipo | Moldeo | Horno | f'b (MPa) | Succión | γ (g/cm ³) |
|--------------------|---------|------------|---------|--------------|---------|-------------------------------|
| San Carlos | KK | Artesanal | Abierto | 8.1 | 105 | 1.78 |
| Cepersa | KK | Artesanal | Abierto | 13.6 | 70 | 1.78 |
| Olimpo | KK | Artesanal | Abierto | 8.8 | 79 | 1.78 |
| San Remo | KK | Industrial | Abierto | 23.5 | 88 | 1.99 |
| Gravi | KK | Industrial | Abierto | 19.3 | 86 | 1.94 |
| Kar | KK | Industrial | Cerrado | 15.7 | 69 | 1.96 |
| Industrial Acho | KK | Artesanal | Abierto | 10.6 | 100 | 1.73 |
| Carmelita | KK | Artesanal | Abierto | 13.4 | 85 | 1.80 |
| Principal | Rejilla | Industrial | Abierto | 15.9 | 83 | 1.93 |
| Rex | Rejilla | Industrial | Cerrado | 50.5 | 44 | 2.01 |
| Cepersa | Rejilla | Industrial | Abierto | 35.4 | 73 | 1.93 |
| Jesús | Rejilla | Industrial | Cerrado | 25.0 | 59 | 1.91 |
| San José | Rejilla | Industrial | Cerrado | 32.2 | 45 | 1.94 |
| Huachipa* | KK | Industrial | | 23.0 | | 1.75 |
| Ladrill. del norte | KK | Industrial | | 16.3 | | 1.84 |
| Ikaro* | KK | Industrial | | 30.0 | | 1.85 |

* Datos obtenidos de las Especific. Técnicas de las ladrilleras y del Laboratorio de E.M. - UNI

1.3.2 - EL MORTERO

El mortero es el adhesivo que une a las unidades y confiere así la resistencia a la tracción de la albañilería

El mortero requiere máxima trabajabilidad, medida por su fluidez, plasticidad y retentividad, de modo tal que sea fácilmente colocable por el operario, asegurando el relleno de todas las juntas y el contacto íntimo y continuo entre el mortero y la unidad de albañilería.

Para ser adhesivo, el mortero tiene que ser trabajable, retentivo y fluido. El mortero debe prepararse con cemento portland tipo 1 ó 1P, cal hidratada, arena y la máxima cantidad posible de agua sin que la mezcla segregue (slump 6"). El agua proveerá trabajabilidad, la cal retentividad y fluidez y el cemento resistencia.

La trabajabilidad del mortero debe conservarse durante el proceso de asentado, por ésta razón, toda mezcla que haya perdido trabajabilidad deberá reemplazarse. Dependiendo de condiciones regionales de humedad y temperatura, el reemplazarse puede hacerse hasta 1 1/2 ó 2 horas después de mezclado el mortero.

En la tabla 1.4 se presentan las proporciones en volumen cuando se emplea cemento portland tipo I y cal hidratada según la Norma E-070 de Albañilería :

TABLA 1.4. TIPOS DE MORTERO (Norma E-070)

| Tipo | Cemento | Cal | Arena |
|------|---------|-----|-------|
| P1-C | 1 | 1 | 4 |
| P2-C | 1 | 1 | 5 |
| NP-C | 1 | 1 | 6 |

En la tabla 1.5 se detallan las características obtenidas en ensayos típicos de mortero realizados con una sola arena de granulometría media completa con 33 % de vacíos (Gallegos H. 1990) :

TABLA 1.5 - CARACTERISTICAS DE LOS MORTEROS (Gallegos, 1990)

| MORTERO | Consistencia (Fluidez) % | Retentividad | Resistencia a la compresión (MPa) | Adhesión medida en ensayo de tracción directa (MPa) | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------|---|--|-------|-------|
| | | | | Succión (gramos) | | |
| | | | | 5-10 | 10-20 | 20-40 |
| 1 : 1/4 : 3 | 125-135 | 0.82 | 31.8 | 0.34 | 0.53 | 0.32 |
| | 110-125 | 0.82 | 33.1 | 0.34 | 0.34 | 0.07 |
| | 95-110 | 0.82 | 35.4 | 0.13 | 0.08 | 0.01 |
| 1 : 1/2 : 4 1/2 | 125-135 | 0.89 | 15.2 | 0.38 | 0.54 | 0.47 |
| | 110-125 | 0.88 | 16.9 | 0.30 | 0.41 | 0.31 |
| | 95-110 | 0.88 | 19.3 | 0.15 | 0.16 | 0.10 |
| 1 : 1 : 6 | 125-135 | 0.92 | 5.6 | 0.33 | 0.50 | 0.41 |
| | 110-125 | 0.93 | 6.3 | 0.34 | 0.39 | 0.37 |
| | 95-110 | 0.91 | 8.2 | 0.10 | 0.25 | 0.16 |

En la tabla 1.6 se muestra la clasificación que hace el reglamento UBC (Uniform Building Code) para las proporciones en volumen de los morteros.

TABLA 1.6 - PROPORCIONES DE MORTEROS EN VOLUMEN (UBC, 1990)

| Tipo de Mortero | Resistencia a la Compresión * Mínima (MPa) | Cemento Portland | Cal hidratada | | Arena |
|-----------------|---|------------------|---------------|--------|--|
| | | | Mínimo | Máximo | |
| M | 17.6 | 1 | - | 1/4 | No menor que 2 1/2 ni mayor que 3 veces la suma de volumen de cemento y cal |
| S | 12.7 | 1 | 1/4 | 1/2 | |
| N | 5.3 | 1 | 1/2 | 1 1/4 | |
| O | 2.5 | 1 | 1 1/4 | 2 1/2 | |

* Ensayado según Norma UBC No. 24-23

1.3.3 - LA ALBAÑILERIA

La albañilería es un material estructural compuesto que, en su forma tradicional, está formado por unidades asentadas con mortero. Sobre la base de ensayos y experiencias puede afirmarse que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico y que tiene por naturaleza una resistencia a la compresión elevada, que depende en primer lugar de aquella de la propia unidad (ladrillo), mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero.

En las últimas décadas la albañilería se ha integrado también con unidades huecas (asentadas con mortero o apiladas sin utilizar mortero) que se llenan con concreto líquido. Las características antes mencionadas de heterogeneidad, anisotropía y debilidad de las juntas se aplican igualmente en estos casos.

Resistencia a la Compresión de la Albañilería (f'_m).

La resistencia a la compresión de la albañilería es una de sus propiedades más importantes, que define no solo su calidad estructural, sino que también se relaciona con el nivel de resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

Los principales componentes que definen la resistencia a la compresión de la albañilería son : la resistencia a la compresión del ladrillo f_b , la perfección geométrica del ladrillo, la calidad de mortero empleado para el asentado de ladrillo y la calidad de mano de obra empleada .

En la tabla 1.7 se presentan valores experimentales para la resistencia a la compresión f'_m de la albañilería en función del tipo de mortero, de la materia prima y de la resistencia de la resistencia de la unidad de ladrillo f_b . (Gallegos, H. 1990).

TABLA 1.7 - RESISTENCIA DEL LADRILLO (f'_b en MPa) PARA OBTENER UNA DETERMINADA RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERÍA (f'_m) . (Gallegos, 1990)

| f_m (MPa) | Ladrillo de Arcilla | | | Ladrillo de Concreto | | | Ladrillo de sílice-cal | | |
|----------------|---------------------|----|----|----------------------|----|----|------------------------|----|----|
| | Mortero | | | Mortero | | | Mortero | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 3.5 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 5 | | | |
| 7.0 | 16 | 16 | 20 | 9 | 9 | 9 | | | 15 |
| 10.5 | 27 | 28 | 35 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 18 |
| 14.0 | 40 | 42 | 56 | 19 | 20 | 21 | 20 | 21 | 25 |
| 17.5 | 52 | 55 | | 25 | 26 | | 25 | 27 | |
| 21.0 | 64 | 68 | | | | | | | |

Según el reglamento UBC (secc 2402) el f'_m debe ser verificado en campo durante la construcción mediante ensayos de albañilería según el acápite 2 de la sección 2402, y debe ensayarse al menos un prisma por cada 500 m² de muro pero no menos de 3 por cada edificación en total.

A continuación se presentan los acápites 2 y 3 de la sección 2402 de la UBC

UNIFORM BUILDING CODE

Sección 2402 : Determinación de la resistencia de compresión de diseño de la albañilería f'_m

2 - Ensayo

a)- Generalidades.- La resistencia a la compresión f'_m de la albañilería debe ser determinada en ensayos con prismas contruidos con los mismos materiales y en las mismas condiciones ambientales donde se va a construir la estructura. Debe usarse la misma proporción , consistencia del mortero y la misma mano de obra a ser usado en la estructura. El valor f'_m debe ser el promedio de los especímenes ensayados pero no menos de 1.25 veces el valor mínimo ensayado. (f'_m resulta de dividir la carga última entre el área neta del prisma).

b)- Prisma.- Los prismas no deben tener menos de 30 cm de altura y debe tener una relación altura/espesor mínima de 1.5 y máxima de 5.0 . El valor de f_m debe ser tomado como el esfuerzo a la compresión de los especímenes **multiplicado** por un factor de corrección

| h/d | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| Factor de corrección | 0.86 | 1.00 | 1.20 | 1.30 | 1.37 |

c)- Almacenaje.- Los prismas deben almacenarse por 7 días antes de ser ensayados.

3 - f_m Supuesta

Cuando no se efectúa el ensayo del acápite anterior, se asume f_m en base al f_b según los valores siguientes

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| f_b MPa | 96.7 | 69.1 | 41.5 | 20.7 | 17.3 |
| f_m MPa | 36.6 | 27.6 | 17.9 | 12.5 | 10.4 |

Para valores intermedios se interpola.

Cuando el valor f_m de diseño asumido es mayor a 18 MPa, el ensayo según la sección 2402 debe realizarse.

Para morteros de más resistencia a la compresión se producen prismas de más resistencia con los mismos ladrillos como se aprecia en la tabla 1.8 :

TABLA 1.8 - EFECTO DEL TIPO DE MORTERO EN LA RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERÍA Gallegos, H.

| Mortero Tipo | Proporciones | Relación de resistencia del | |
|-----------------|--------------|-----------------------------|--------|
| | | Mortero | Prisma |
| A | 1:1/4:3 | 2.00 | 1.06 |
| B | 1:1/2:4 1/2 | 1.00 | 1.00 |
| C | 1:1:6 | 0.50 | 0.85 |
| D | 1:2:9 | 0.25 | 0.62 |

En Lima las unidades de albañilería se pueden obtener en calidad Tipo IV con resistencia 15 MPa (135 kg/cm²) ó Tipo V con resistencia 20 MPa (180 kg/cm²) de la Norma de ITINTEC, pero igualmente en calidad extra, en forma standard más de 30 MPa (ver tabla 1.3).. Con estas resistencias se obtienen en los prismas de prueba una resistencia de albañilería (f_m) de hasta 9.8 MPa (100 kg/cm²)

En el presente estudio se toma un f_m para los cálculos de

$$f_m = 50 \text{ kg/cm}^2 = 4.9 \text{ MPa}$$

La resistencia a la compresión es importante para el diseño de la albañilería pero su valor es naturalmente más elevado en realidad . Debe tenerse en cuenta que la falla por compresión en los muros de corte que constituye una edificación real es

improbable, ya que los muros transversales a la dirección de la fuerza lateral sísmica proveen "alas" de compresión a los muros que recogen dicha fuerza.

Módulo de Elasticidad de la albañilería (E_m) .-

El módulo de elasticidad de la albañilería puede determinarse basándose en resultados empíricos . Esta evaluación ha resultado en valores del módulo de elasticidad (E_m) entre un linderero bajo de $400f_m$ y un linderero alto de $1000f_m$ para albañilería de arcilla y sílice-cal asentados con mortero. (Gallegos, H. 1990)

Según las normas de albañilería de otros países , el módulo de elasticidad varía entre los linderos antes mencionados (Gibu y Sérída, 1993) . Así se tiene que para Canadá y Chile : $E_m = 1000f_m$; para USA y México : $E_m = 600f_m$. En el Perú la Norma de Albañilería E-070 de INTNVI establece que el módulo de elasticidad $E_m = 500f_m$

Para el presente estudio se toma un módulo de elasticidad de la albañilería de $E_m = 500 f_m$, donde f_m es la resistencia de la unidad de albañilería en compresión.

Para $f_m = 50 \text{ Kg/cm}^2$, resulta :

$$E_m = 25,000 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de Corte (G_m) .-

En ensayos empíricos realizados en muros a escala natural sometidos a fuerzas de corte se estableció que G_m aumentaba considerablemente con la precompresión, reflejando el comportamiento no lineal de la albañilería. (Sinha-Hendry, 1970)

Se pueden obtener valores aproximados de G_m de la relación

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu)}$$

donde ν es el módulo de Poisson que tiene un valor inicial de 0.2 aumentando a 0.35 y E_m es el módulo de Elasticidad de la albañilería. (Gallegos, H. 1990)

Según las normas de albañilería de otros países , el módulo de corte ó también llamado módulo de rigidez son : Para Canadá : $G_m = 400f_m$; para USA : $G_m = 240f_m$; para Chile y México : $G_m = 0.3E_m$.(Gibu y Sérída, 1993).

La Norma de Albañilería E-070 de ININVI establece que el módulo de rigidez $G_m = 0.4E_m$.

En el presente estudio se toma un valor de Poisson de $\nu=0.25$ lo que da un valor del módulo de corte para albañilería de

$$G_m = 0.4 E_m$$

que resulta

$$G_m = 10,000 \text{ Kg/cm}^2$$

1.4 - CARGAS

En las estructuras de albañilería, las cargas de gravedad no representan problema, ya que la albañilería es muy competente para resistir las reducidas compresiones que ellas causan.

En cambio, las cargas sísmicas si son críticas, tanto por ser dinámicas como por generar mayores esfuerzos de tracción y compresión actuando por encima del límite elástico de la estructura.

Es por eso que en la mayoría de las edificaciones urbanas que son viviendas unifamiliares o vivienda multifamiliares, el control de calidad de los muros de albañilería debe ser superior a la del concreto armado, ya que finalmente la estabilidad de la edificación tanto para cargas de gravedad como para sismos depende de los muros.

A - Método para determinar las Fuerzas Sísmicas Horizontales

Según las Normas de Diseño Sismo Resistente (NDSR) del Reglamento Nacional de Construcciones (RNC), la fuerza horizontal o cortante total en la base debido a la acción sísmica se determinará mediante la fórmula siguiente:

$$H = \frac{ZUCS}{R_d} P$$

donde : Z = Factor de Zona

U = Factor de Uso e Importancia

C = Coeficiente Sísmico

S = Factor de Suelo

P = Peso de la Edificación

Rd = Factor de Ductilidad

a) - **Factor de Zona (Z)** : Depende de la zona sísmica donde esté ubicada la edificación.

| | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 |
|----------|--------|--------|--------|
| Factor Z | 1.00 | 0.70 | 0.30 |

b) - **Factor de Uso e Importancia (U)** : De acuerdo a su uso y especial importancia cuando ocurre un sismo, las construcciones se clasifican en categorías (revisar la sección 1.12 de la NDRS-RNC).

| | Cat. A | Cat. B | Cat. C | Cat. D |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| Factor U | * | 1.30 | 1.00 | ** |

(*) : A criterio del proyectista

(**): Exoneradas de diseño sísmico

La mayor parte de las edificaciones de albañilería corresponden a la categoría C

c) - **Coefficiente Sísmico (C)** : Es la fracción del peso de la edificación que debe de tomarse para la determinación de la fuerza cortante en la base, el que se calculará mediante el espectro de respuesta de aceleraciones generalizado, según la siguiente fórmula :

$$C = \frac{0.8}{T + 1.0}$$

donde :

T : Período fundamental de la estructura

T_S : Período que depende del tipo de suelo (ver secc. d)

El período fundamental de la estructura (T) se puede calcular de la siguiente manera

$$T = \frac{0.05H}{\sqrt{D}}$$

donde :

H : Altura total de la edificación

D : Dimensión horizontal en la dirección del sismo.

Las estructuras típicas de albañilería pueden ser clasificadas como rígidas, con períodos cortos, para las que resulta $C = 0.40$

d) - Factor de Suelo (S) : Considera los efectos de la amplificación de la acción sísmica que se producen por las características del subsuelo de cimentación

| Clasificación | Factor S | Período Ts (seg) |
|---------------|----------|------------------|
| Suelo I | 1.00 | Ts = 0.3 |
| Suelo II | 1.20 | Ts = 0.6 |
| Suelo III | 1.40 | Ts = 0.9 |

e) - Peso de la Edificación (P) : Se calculará adicionando a la carga permanente de la edificación un porcentaje de la carga viva ó sobrecarga. Para edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.

f) - Factor de Ductilidad (Rd) : Corresponde básicamente a la ductilidad global de la estructura. La ductilidad se define como la relación entre las deformaciones correspondientes a la rotura y la correspondiente al límite elástico, del material del elemento o de la estructura. Para edificios de muros de albañilería armada o confinada, el factor Rd utilizado es 2.5.

B- Distribución de la Fuerza Horizontal en la Altura de la Edificación

La Fuerza Horizontal o Cortante "V" en la base calculada según la sección anterior en cada dirección, se distribuirá en la altura de la edificación según la siguiente fórmula.:

$$F_i = f \cdot V \frac{P_i h_i}{\sum P_i h_i}$$

donde :

F_i : Fuerza horizontal correspondiente al nivel i

P_i : Peso del piso i considerado

h_i : Altura del nivel i respecto a la base

$f = 0.85$ para edificios cuya relación alto/ancho en la dirección considerada exceda de 6

$f = 1.00$ cuando ésta relación no exceda de 3 (como es habitual en estructuras de albañilería)

Para relaciones alto/ancho entre 3 y 6 se deberá interpolar linealmente entre los valores antes indicados.

Conociendo las fuerzas horizontales, se puede hallar las fuerzas cortantes en cada piso:

$$V_i = \sum_{k=i}^n F_k$$

donde :

V_i : Cortante en el piso i

$\sum F_k$: Sumatoria de las fuerzas horizontales de los pisos superiores al analizado, incluido éste.

METODOS DE ANALISIS

Antiguamente las estructuras de albañilería eran diseñadas usando criterios cualitativos, pero sin evaluar la verdadera capacidad de la estructura, lo cual conducía a diseños extremadamente conservadores y, por lo tanto, antieconómicos. Con la aparición de las computadoras personales se han puesto en vigencia procedimientos que antes eran solo académicos y para la investigación

En éste capítulo se describen los métodos de análisis sísmico que se usan generalmente, como son el análisis con modelos de acoplamiento cercano (fig. 2.1) que es el más frecuentemente usado y el análisis seudo tridimensional estático y dinámico con modelos de acoplamiento lejano (fig. 2.2).

2.1 - ANÁLISIS ESTÁTICO CON MODELOS DE ACOPLAMIENTO CERCANO

El análisis sísmico con modelos de acoplamiento cercano de estructuras de albañilería se realiza considerando los diversos pisos como independientes unos de otros y a todos los muros de una misma planta actuando como en voladizo. Se incluyen deformaciones de flexión y corte en el cómputo de rigideces de los mismos. Sin embargo estos métodos tienen sus limitaciones puesto que en realidad los muros son continuos desde su base.

El Reglamento Nacional de Construcciones establece que se puede realizar un análisis sísmico estático (sin especificar el método) pero considerando en el mismo un momento torsor accidental, como se verá más adelante.

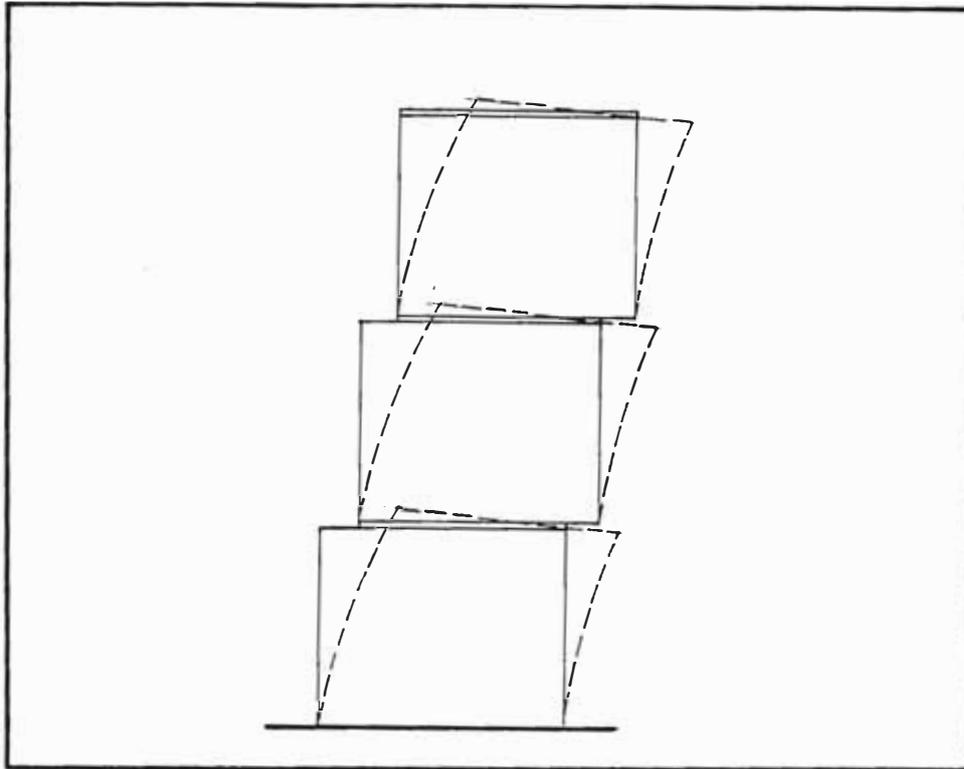


FIG. 2.1 MODELO DE ACOPLAMIENTO CERCANO

La Norma de Diseño Sismo Resistente estipula que la distribución en planta de las fuerzas horizontales para el caso de edificaciones que cuenten con diafragmas rígidos a nivel de pisos, será de acuerdo con las rigideces de los elementos resistentes. Esto implica una distribución de la fuerza horizontal en cada muro directamente proporcional a las rigideces de éstos.

A - Cálculo de las Rigideces de los muros

En la práctica el análisis se realiza separadamente para cada entrepiso y se considera a cada muro en voladizo, de modo que la rigidez viene dada por :

$$R_i = \frac{1}{\frac{h^3}{3E_m I} + \frac{1.2h}{AG_m}}$$

donde :

E_m : Módulo de Elasticidad de la albañilería

G_m : Módulo de Corte de la albañilería

h : Altura del muro hasta el nivel donde se hace la repartición de fuerzas horizontales

I : Momento de Inercia de la sección

A : Area de la sección

B Cortante por Traslación :

La fuerza horizontal o cortante por traslación de cada muro, V_i , es :

$$V_i = \frac{R_i}{\sum R_i} V_n$$

donde :

V_n : Cortante del nivel en estudio

R_i : Rigidez del muro analizado

$\sum R_i$: Sumatoria de las rigideces de los muros en ese nivel

C - Cortante por Torsión :

1 - En primer lugar, se determina el Centro de Rigidez CR, con la rigidez de cada muro y su ubicación respecto a un sistema de ejes referenciales :

$$X_r = \frac{\sum(R_{yi} \cdot x_i)}{\sum R_{yi}} \quad \text{y} \quad Y_r = \frac{\sum(R_{xi} \cdot y_i)}{\sum R_{xi}}$$

donde :

R_{xi} , R_{yi} : rigideces del muro i en las direcciones X e Y

x_i , y_i : coordenadas del centro de gravedad del muro i

2 - Se determina el Centro de Masa, CM

$$X_m = \frac{\sum(P_i \cdot x_i)}{\sum P_i} \quad \text{y} \quad Y_m = \frac{\sum(P_i \cdot y_i)}{\sum P_i}$$

donde :

P_i : peso del elemento i (muro, losa ú otro)

x_i, y_i : coordenadas del centro de gravedad del elemento i

3 - Se evalúa el momento torsor en cada nivel y para cada dirección del sismo:

$$Mt_1 = V_n(1.5e + 0.05D) \quad \text{Condición 1}$$

$$Mt_2 = V_n(e - 0.05D) \quad \text{Condición 2}$$

donde :

Mt_1, Mt_2 : Momento torsor

V_n : Cortante del nivel en estudio

Para el sismo en la dirección X :

$$e = e_y = Y_m - Y_r \quad (\text{excentricidad en la dirección Y})$$

$$0.05 \cdot D = 0.05 \cdot D_y \quad (D_y : \text{longitud de la edificación en la dirección Y})$$

Para el sismo en la dirección Y

$$e = e_x = X_m - X_r \quad (\text{excentricidad en la dirección X})$$

$$0.05 \cdot D = 0.05 \cdot D_x \quad (D_x : \text{longitud de la edificación en la dirección X})$$

4 - Se hallan los incrementos de fuerza horizontal debido al momento torsor Mt :

$$\delta V_{yi} = \frac{Mt \cdot R_{yi} \cdot (x_i - X_r)}{\sum R_{xi} \cdot (y_i - Y_r)^2 + \sum R_{yi} \cdot (x_i - X_r)}$$

$$\delta V_{xi} = \frac{Mt \cdot R_{xi} \cdot (y_i - Y_r)}{\sum R_{xi} \cdot (y_i - Y_r)^2 + \sum R_{yi} \cdot (x_i - X_r)}$$

D - Cortante Total o Cortante de Diseño de cada muro (V_i) :

Se evalúa la fuerza cortante en cada muro

$$V_i = V_t + \delta V$$

donde :

V_t Cortante por traslación (ver sección B)

δV incremento de cortante por torsión

Para efectos de diseño , solamente se deben considerar los valores positivos de los incrementos del cortante por torsión, es decir, debe considerarse la excentricidad con el signo que resulta mas desfavorable.

2.2 - ANÁLISIS ESTÁTICO CON MODELOS DE ACOPLAMIENTO LEJANO (SEUDO-TRIDIMENSIONAL)

El análisis Seudo-Tridimensional es un método en el cual se idealiza a la estructura como compuesta de componentes planos (pórticos o muros) interconectados por las losas de entrepiso (ver fig. 2.2) que se consideran como diafragmas infinitamente rígidos. Por lo tanto, no considera las deformaciones axiales de las vigas, al suponer que en cada pórtico todos los nudos de un nivel tienen el mismo desplazamiento horizontal. En las columnas y placas debe considerarse la rigidez axial, de flexión y de corte.

Este método consiste en determinar la matriz de rigidez de la estructura mediante el ensamblaje de las matrices laterales de los pórticos que, a su vez, se forman a partir de las matrices de rigidez de los elementos de barras (vigas, columnas, placas) componentes de cada pórtico. Luego mediante la matriz de fuerzas (obtenidas según el RNC) se obtienen los desplazamientos globales de la estructura según los grados de libertad considerados, para posteriormente hallar los desplazamientos locales y las correspondientes fuerzas en los elementos.

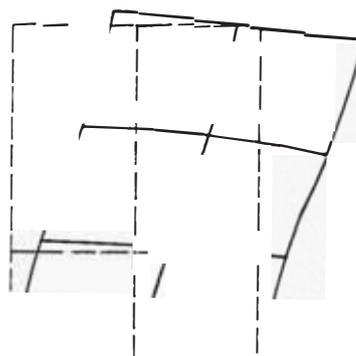


FIG. 2.2 MODELO DE ACOPLAMIENTO LEJANO

A - MATRICES DE RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS

Para determinar las matrices de rigidez de los elementos de eje recto y sección constante se tiene que sustituir valores en expresiones conocidas que se revisaran más adelante. Para ello, se debe tener grados de libertad que permitan considerar todas las acciones de interés a los cuales se asocian una componente de desplazamiento y una componente de fuerza. A continuación se detallan las matrices de rigideces de vigas , columnas y placas, que son los elementos mas comunes :

Elemento VIGA

Para un elemento de este tipo se consideran 4 grados de libertad (ver fig. 2.3)

No se incluyen los grados de libertad correspondientes a desplazamientos horizontales, lo que es consistente con no considerar las deformaciones axiales.

Sin incluir deformaciones de corte se tiene

$$K_{viga} = \begin{bmatrix} 12EI & 6EI & -12EI & 6EI \\ L^3 & L^2 & -L^3 & L^2 \\ 6EI & 4EI & -6EI & 2EI \\ -L^2 & L & L^2 & -L \\ -12EI & -6EI & 12EI & 6EI \\ L^3 & L^2 & -L^3 & L^2 \\ 6EI & 2EI & -6EI & 4EI \\ L^2 & L & -L^2 & L \end{bmatrix}$$

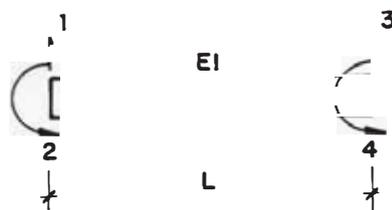


FIG. 2.3 Grados de libertad para un elemento VIGA

VIGA con Brazos Rígidos

Cuando se analizan pórticos con placas, se debe hacer una modificación importante en las rigideces de las vigas (ver fig. 2.4) . En éstos casos las aproximaciones que se toman en la teoría de vigas son inadecuadas para las porciones de las vigas entre las caras de apoyo y los ejes de los elementos verticales (placas). Habitualmente se supone que estas porciones son infinitamente rígidas (ver fig. 2.4b)

La matriz de rigidez de la viga con brazos rígidos, con los grados de libertad indicados en la figura anterior resulta

$$K_{\text{viga/br}} = \begin{matrix} S_1 & S_2 & -S_1 & S_3 \\ S_2 & S_4 & -S_2 & S_5 \\ -S_1 & -S_2 & S_1 & -S_3 \\ S_3 & S_5 & -S_3 & S_6 \end{matrix}$$

donde :

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{12EI}{L^3} \\ S_2 &= \frac{6EI}{L^2} + \frac{12EI}{L^3} a \\ S_3 &= \frac{6EI}{L^2} + \frac{12EI}{L^3} b \\ S_4 &= \frac{4EI}{L} + \frac{6EI}{L^2} (2a) + \frac{12EI}{L^3} a^2 \\ S_5 &= \frac{2EI}{L} + \frac{6EI}{L^2} (a+b) + \frac{12EI}{L^3} ab \\ S_6 &= \frac{4EI}{L} + \frac{6EI}{L^2} (2b) + \frac{12EI}{L^3} b^2 \end{aligned}$$

En éstas expresiones L es la longitud del tramo central, flexible, a y b son las longitudes de los brazos rígidos (obtenidas como 1/2 del peralte de las placas o muros multiplicado por un factor de reducción).

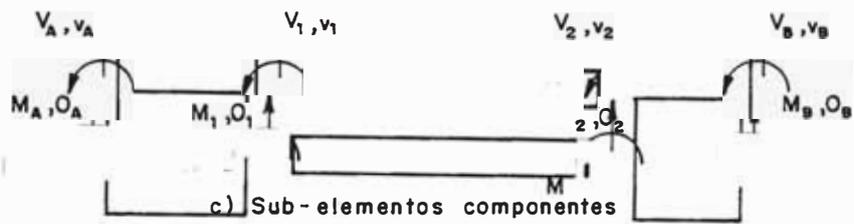
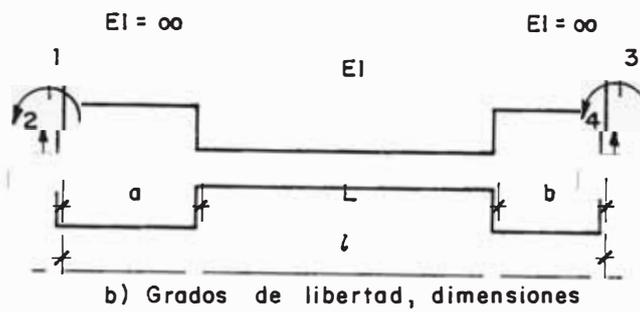
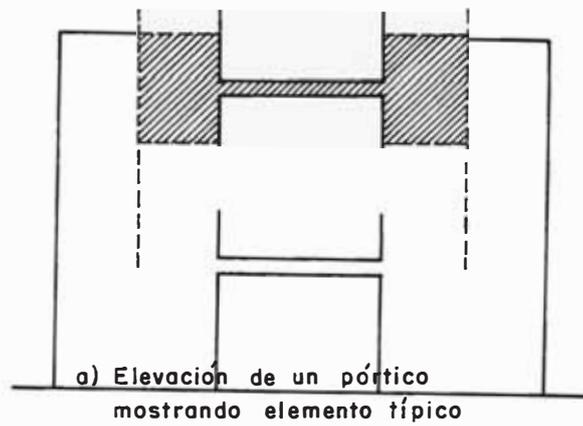


FIG. 2.4 Elemento Viga con Brazo Rígido

Elemento COLUMNA

Para un elemento vertical sea columna ó placa, se obtienen coeficientes de rigidez similares, sólo que en distinto orden y con algunos cambios de signo dependiendo de como se consideran los grados de libertad (ver fig. 2.5) . En éste tipo de elemento es necesario considerar 6 grados de libertad.

$$K_{columna} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 12EI \\ h^3 \\ 0 \\ -6EI \\ 12EI \\ 0 \\ -6EI \\ -6EI \\ -h^2 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ EA \\ h \\ 0 \\ 0 \\ -EA \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} -6EI \\ h^2 \\ 4EI \\ h \\ 6EI \\ h^2 \\ 2EI \\ h \end{matrix} & \begin{matrix} -12EI \\ h^3 \\ 0 \\ 6EI \\ 12EI \\ 0 \\ 6EI \\ h^2 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ -EA \\ h \\ 0 \\ EA \\ h \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} -6EI \\ h^2 \\ 0 \\ 2EI \\ 6EI \\ 0 \\ 4EI \\ h \end{matrix} \end{matrix}$$

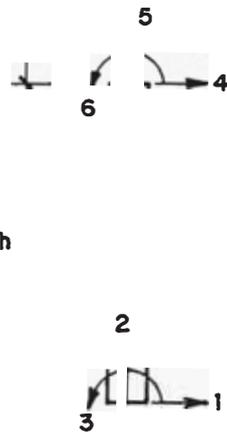


FIG. 2.5 Grados de libertad para un elemento COLUMNA ó PLACA

Elemento PLACA

En una placa, que es también un elemento vertical, se debe incluir los efectos de las deformaciones por corte. Esto es necesario cuando los elementos no son esbeltos, con una razón luz/peralte de 10 ó menos. Las deformaciones por corte son significativas y deben ser consideradas en los coeficientes de rigidez.

$$K_{placa} = \begin{matrix} \begin{matrix} 12EI \\ (1+\Phi)h^3 \\ 0 \\ -6EI \\ (1+\Phi)h^2 \\ -12EI \\ (1+\Phi)h^3 \\ 0 \\ -6EI \\ (1+\Phi)h^2 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ EA \\ h \\ 0 \\ 0 \\ -EA \\ h \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} -6EI \\ (1+\Phi)h^2 \\ 0 \\ (4+\Phi)EI \\ (1+\Phi)h \\ 6EI \\ (1+\Phi)h^2 \\ 0 \\ (2-\Phi)EI \\ (1+\Phi)h \end{matrix} & \begin{matrix} -12EI \\ (1+\Phi)h^3 \\ 0 \\ 6EI \\ (1+\Phi)h^2 \\ 12EI \\ (1+\Phi)h^3 \\ 0 \\ 6EI \\ (1+\Phi)h^2 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ -EA \\ h \\ 0 \\ 0 \\ EA \\ h \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} -\frac{6EI}{(1+\Phi)h^2} \\ 0 \\ (2-\Phi)EI \\ (1+\Phi)h \\ 6EI \\ (1+\Phi)h^2 \\ 0 \\ (4+\Phi)EI \\ (1+\Phi)h \end{matrix} \end{matrix}$$

donde :

$$\Phi = \frac{12EI}{GA_s h^2}$$

con esta expresión se cualifica la importancia de las deformaciones de corte. Considerando que para secciones rectangulares el área de corte $A_s = (5/6)$ del área de la sección transversal y suponiendo que $G = 0.4E$, resulta :

$$\Phi = 3\left(\frac{t}{h}\right)^2$$

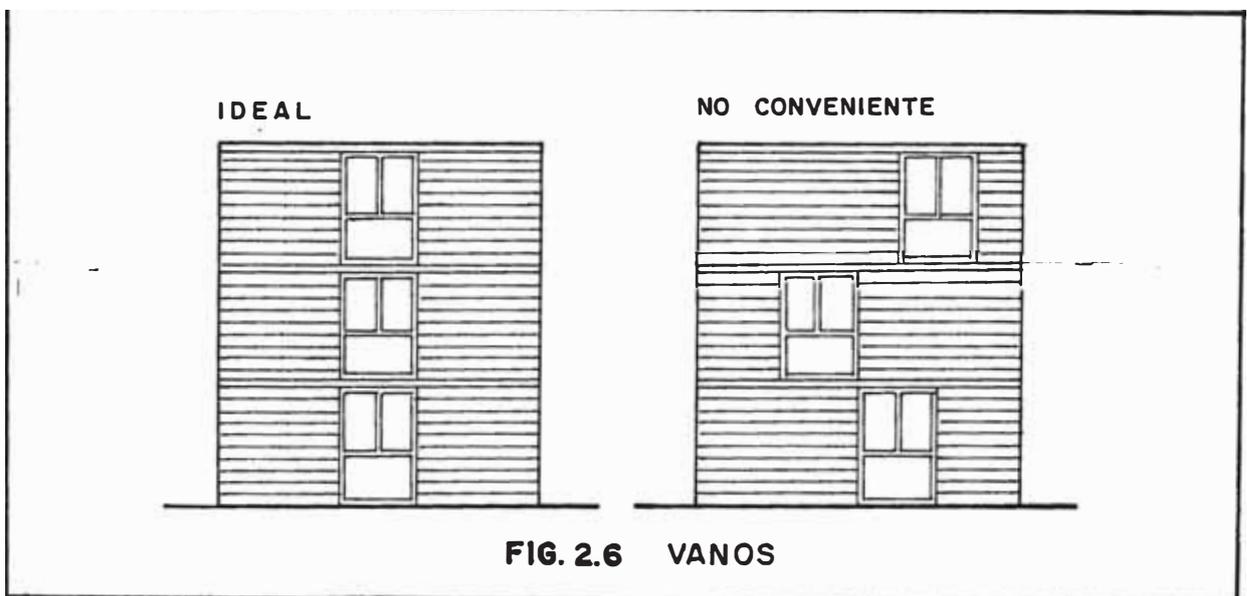
donde t es el peralte y h la altura del entrepiso. Se observa que para elementos esbeltos (como las columnas), Φ es mucho menor que 1 y puede despreciarse, no así para placas de gran peralte.

Elemento MURO DE ALBAÑILERIA

Para el presente estudio se considera al edificio de albañilería compuesto por elementos verticales tipo placa descrito en la sección precedente con las correspondientes características físicas de la albañilería. Para ello, se deben hacer las siguientes consideraciones

- Como se dijo anteriormente, la albañilería es un material heterogéneo y anisotrópico compuesto por materiales diferentes (ladrillo, mortero, acero) que tienen un comportamiento diferente. Pero cuando se refuerza el muro de albañilería ya sea en forma confinada colocando vigas y columnas de concreto armado en sus cuatro bordes, ó en forma armada con refuerzo de acero horizontal y/o vertical , se logra que el muro tenga resistencia a la tracción, flexión y corte garantizando un comportamiento conjunto ante sollicitaciones coplanares y laterales. Por lo tanto, se supone que el elemento muro de albañilería se comporta como homogéneo e isotrópico.
- Suponiendo homogeneidad y sobre la base de secciones brutas, se pueden calcular las inercias I y las áreas de corte A_s igual como para el elemento placa descrito anteriormente. Para el caso de las inercias de los muros de albañilería se puede considerar la influencia de los muros perpendiculares a la dirección del sismo, proveyéndole "alas" en una dimensión determinada como se verá más adelante en el capítulo 4. También se pueden considerar "alas" perpendiculares por las columnas de confinamiento, haciendo una equivalencia entre módulos de elasticidad de concreto y albañilería.

- El muro de albañilería confinada y más aún la armada, tienen un comportamiento similar al de una placa de concreto armado. Las deformaciones por corte son significativas y por lo tanto se deben considerar en los coeficientes de rigidez.
- En las edificaciones de albañilería se debe procurar que los vanos de las puertas y ventanas sean coincidentes en ubicación piso a piso para minimizar los cambios bruscos de rigidez (ver figura 2.6).



- Los alféizares deben ser separados de los muros porque de lo contrario contribuyen a la rigidez pero no a la resistencia, creando concentraciones de esfuerzos. (ver figura 2.7). En el capítulo 4 se estudian las diferencias en los resultados de análisis cuando se considera los alféizares.

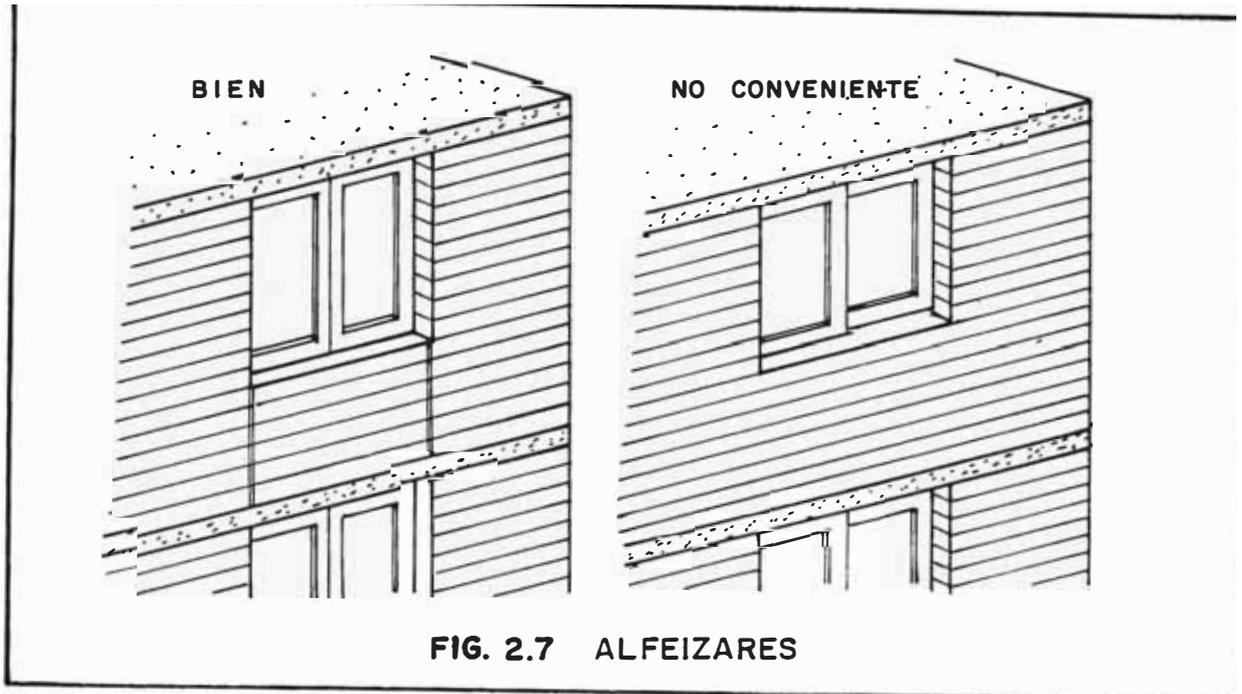


FIG. 2.7 ALFEIZARES

- Los dinteles constituyen un obstáculo constructivo y tienden a causar concentraciones de esfuerzos en los muros. La mejor práctica es no colocar dinteles y llevar los vanos de las puertas y ventanas de piso a techo (ver figura 2.8).

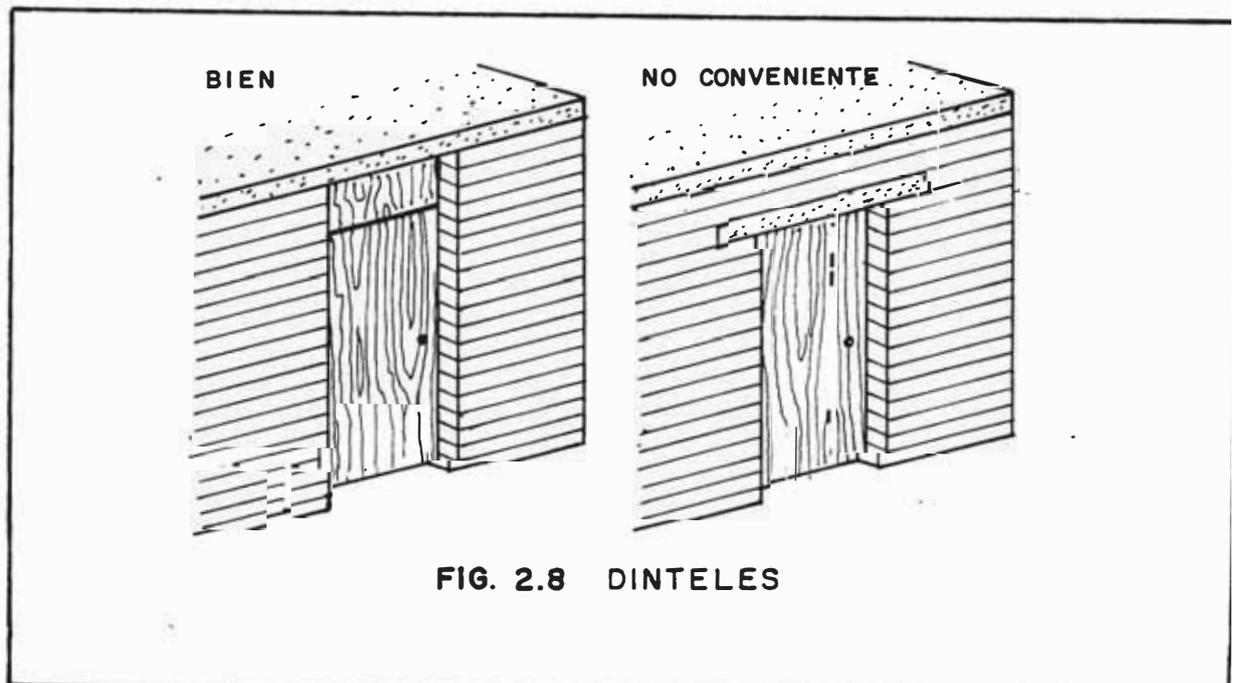


FIG. 2.8 DINTELES

B - MATRIZ DE RIGIDEZ LATERAL DE PORTICO: Condensación Estática

En un análisis seudo tridimensional, se consideran primero separadamente los pórticos planos o en general los ejes resistentes que conforman la estructura. Para cada uno de ellos se debe obtener la "matriz de rigidez lateral". Esta es una matriz que relaciona fuerzas y desplazamientos horizontales. Un proceso de condensación estática permite eliminar los grados de libertad asociados a desplazamiento vertical y giros quedando sólo grados de libertad horizontales. Estableciendo la correspondencia entre los grados de libertad de cada uno de los elementos con aquellos del pórtico, se procede a ensamblar la matriz de rigidez. Separando los grados de libertad asociados a desplazamiento horizontales $\{u\}$ de aquellos asociados a desplazamientos verticales y giros $\{v\}$, pueden identificarse cuatro submatrices de la matriz de rigidez

$$[K_{uu}], [K_{uv}], [K_{vu}] \text{ y } [K_{vv}]$$

Suponiendo que las fuerzas correspondientes a los grados de libertad asociados a $\{v\}$ son despreciables, se tiene :

$$[K_{uu}] \{v\} + [K_{vu}] \{u\} = \{0\}$$

de donde :

$$\{v\} = -[K_{vv}]^{-1}[K_{vu}]\{u\} = [R] \{u\}$$

La matriz $[R]$ puede en este caso obtenerse más eficientemente resolviendo el sistema de ecuaciones

$$[K_{vv}] [R] = -[K_{vu}]$$

Por otro lado, si $\{H\}$ son las fuerzas asociadas a los grados de libertad horizontales

$$[K_{uv}] \{v\} + [K_{uu}] \{u\} = \{H\}$$

y reemplazando la ecuación

$$\{v\} = [R] \{u\}$$

se obtiene :

$$[K_L][u] = [H]$$

donde:

$[K_L]$ es la matriz de rigidez lateral del pórtico (o eje de muro).

C - MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA: Condensación Cinemática

Conocidas las matrices de rigidez lateral de cada pórtico o eje de muro, puede hacerse una condensación cinemática para obtener la matriz de rigidez de la estructura, con tres grados de libertad por piso. Para ello deben primero establecerse relaciones entre los desplazamientos horizontales en cada eje resistente, $[u_i]$, y las componentes de desplazamiento de puntos de referencia (típicamente centros de masa) en cada losa :

$$[u_i] = [G_i] [u_o]$$

a partir de lo cual

$$[K] = \sum ([G]^T [K_L] [G])$$

donde :

$$[G] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & r & & & \\ & & & \cos \alpha & \sin \alpha & r & & \\ & & & & & & \dots & \end{bmatrix}$$

"r" es la distancia perpendicular entre el centro de masa y el pórtico que se determina mediante

$$r = \{x - x_o\} \sin \alpha - \{y - y_o\} \cos \alpha$$

Luego de hallada la matriz de rigidez de la estructura, se puede hacer el análisis estático con modelos de acoplamiento lejano con cargas equivalentes a las acciones sísmicas (las que se obtienen según el reglamento).

Para la componente de sismo en la dirección X se tendría :

$$[f] \begin{bmatrix} Fx_1 \\ 0 \\ Fx_1 \cdot ey_1 \\ Fx_2 \\ 0 \\ Fx_2 \cdot ey_2 \end{bmatrix}$$

en los grados de libertad 3 y 6 se considera un momento igual al producto de la fuerza en la dirección X por una excentricidad accidental.

Luego se resuelve el sistema de ecuaciones lineales

$$[K] [u_o] = [f]$$

para hallar los desplazamientos globales (es decir los desplazamientos del centro de masas o el punto de referencia de cada nivel).

Para hallar los desplazamientos locales se resuelve

$$[u_i] = [G_i] [u_o]$$

Y para obtener las fuerzas laterales de cada pórtico se resuelve

$$[f_i] = [K_{Li}] [u_i]$$

También para cada pórtico pueden obtenerse los desplazamientos verticales y giros de los nudos

$$[v] = [R] [u]$$

y a partir de estos resultados pueden calcularse las fuerzas en los extremos y en cualquier sección intermedia de cada elemento.

Existen numerosos métodos para resolver el problema matemático de evaluación de valores y vectores característicos como son los métodos de iteración con vectores: (por ejemplo Stodola) cuando el número de valores y vectores característicos por determinar es pequeño ; y métodos de transformación (Jacobi , QR) cuando se requieren todos o una alta proporción de los valores y vectores característicos.

ANALISIS POR SUPERPOSICION MODAL ESPECTRAL

Como se ha visto anteriormente la solución del problema de valores propios o característicos da como resultado las frecuencias (períodos) y formas de modo X que son vectores con 3 componentes por nivel, cada uno correspondiendo a los grados de libertad dinámicos, es decir un vector de dimensión 3n

Las formas de modo están normalizadas

$$\mathbf{X}_i^T \mathbf{M} \mathbf{X}_i = 1$$

Los Factores de Participación Γ_i son valores que se calculan de la siguiente manera :

$$\Gamma_i = \mathbf{X}_i^T \mathbf{M} \mathbf{J}$$

donde J es un vector con unos y ceros dependiendo de la componente de sismo que se está considerando. En tal caso la "masa efectiva" del modo i resulta Γ_i^2 .

Luego, en el análisis modal espectral se necesita considerar el sismo mediante un espectro de diseño (que generalmente es el espectro de las Normas Peruanas RNC) donde se lee directamente la pseudo aceleración (es decir un estimado de la máxima aceleración) para una frecuencia y un amortiguamiento dados.

Cabe remarcar que en esta tesis, para fines comparativos, se usa un espectro de seudo aceleración constante y por lo tanto

$$S_d = S_a/\omega^2$$

$$S_a = 1$$

$$S_d = 1/\omega^2$$

Los desplazamientos correspondientes a cada modo se obtienen aplicando la siguiente expresión

$$Y_i = S_{di} \Gamma_i X_i$$

y luego combinando estas contribuciones usando la combinación estipulada en el RNC a través de su Norma de Diseño Sismo Resistente que es el promedio de la raíz cuadrada de la suma de las respuestas a cuadrado (RCSC) con la suma de los valores absolutos (Σ ABS)

$$1/2 (RCSC + \Sigma ABS)$$

Las fuerzas se pueden obtener de dos maneras

- 1- Determinando las aceleraciones modales para cada modo y luego multiplicandolas por las masas m .

$$F = Y_i \cdot m = (S_{ai} \Gamma_i X_i) \cdot m$$

y luego se combina éstas contribuciones aplicando el procedimiento estipulado en el RNC.

- 2- Determinando los desplazamientos de cada modo y multiplicando por la matriz de rigidez lateral.

En cada caso se usará la matriz de rigidez que corresponda :

- La matriz de rigidez del edificio si se quieren valores globales.

- La matriz de rigidez lateral (con los desplazamientos de cada pórtico) si se quieren los efectos por pórtico.

Se debe tener en cuenta que para determinar las fuerzas cortantes, habrá que calcularlos primero separadamente para cada modo con cualquiera de los procedimientos mencionados, combinando luego los resultados obtenidos según lo especificado.

3

COMPARACION DE METODOS DE ANALISIS

3.1 - MODELO UTILIZADOS

Los modelos utilizados para el presente estudio responden a plantas sencillas con distribución de muros simétricos en unos casos y asimétricos en otros.

Las losas de entrepiso se toma como macizas, de concreto armado y de 12 cm. de espesor. Los muros de albañilería son, para todos los casos, de soga (15 cm. de espesor). Las alturas de entrepiso son de 2.40 m. en la mayoría de los casos. El Módulo de Elasticidad (E) de la albañilería se considera de 250,000 kg/cm² y el módulo de Corte (G) igual a 0.4E.

Para esta tesis, con fines de investigación, en el análisis sísmico se usa un espectro plano con $C=1$ con la finalidad de no reducir la fuerza cortante en la base. (Generalmente se usa $C=0.40$).

Las losas de entrepiso se consideran infinitamente rígidas para acciones en su plano para que los desplazamiento de cada muro o pórtico (eje resistente en planta) dependan solamente de las acciones sísmicas.

En todos los modelos, los muros se toman perpendiculares entre si para que las fuerzas sísmicas (ya sea en la dirección X como en la dirección Y) actúen solamente sobre muros en una dirección.

Todas estas consideraciones se toman para tratar de igualar los parámetros que influyen en el análisis sísmico de los modelos y solamente ver la influencias de los cambios que en cada modelo se da.

En la siguiente tabla 3.1 se describe cada modelo con la variación y el objeto motivo del estudio en cada caso :

TABLA 3.1

| Modelo | Planta | Variación | Objetivo |
|--------|------------|--|---|
| A | Simétrica | Longitud de muros . Número de pisos (1, 3 y 5) Número de modos | Estudio de cortantes globales (V_G) desplazamientos globales (d_G) y Periodos (T) |
| B | Simétrica | Distancia de muros al CR con $e=0.45$ distancia de CM al CR | Estudio de V_G , cortantes locales (V_L) y desplazamientos locales (d_L) . Muro B |
| C | Simétrica | Excentricidad variando el CM | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro B |
| D | Simétrica | Excentricidad variando el CM solo en el último nivel | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro B |
| E | Asimétrica | Excentricidad variando el CM | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro 1 |
| F | Asimétrica | Excentricidad variando el CM | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro 1 |
| G | Simétrica | Longitud de un muro último nivel | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro B |
| H | Simétrica | Longitud de un muro 1er. nivel | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro B |
| I | Asimétrica | Altura de entrepiso 1er. nivel | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro 1 |
| J | Asimétrica | Altura de entrepiso último nivel | Estudio de V_G , V_L y d_L . muro 1 |

3.2 - METODOS DE ANALISIS SISMICOS UTILIZADOS

Para realizar el análisis sísmico estático con modelos de acoplamiento lejano, se utiliza una hoja de cálculo desarrollada para esta tesis llamada AED , para realizar el análisis sísmico estáticos con modelos de acoplamiento cercano se usa un programa desarrollado en lenguaje Fortran CAL-86 (Computer Assisted Learning) desarrollado por Edward L. Wilson A3SE y también se usa otro programa también en lenguaje Fortran : A3SE . Para realizar el análisis sísmico dinámico con modelos de acoplamiento cercano se usa un programa también desarrollado en lenguaje Fortran : A3S .

A - METODO ESTATICO DE ACOPLAMIENTO LEJANO (AED)

Se desarrolla una hoja de cálculo para hallar los cortantes globales, cortantes locales de cada muro y desplazamientos globales llamado AED. Para ello se tiene que colocar los datos de cada modelo en celdas determinadas en la hoja, para luego calcular automáticamente los cortantes y desplazamientos globales También se tiene que colocar las características de cada piso (longitud de muro, espesor, posición, etc.) y luego calcula automáticamente los cortantes por traslación , cortantes por torsión de cada muro (locales) por piso. Su uso es muy sencillo y fácil de entender.

B - METODO ESTATICO DE ACOPLAMIENTO CERCANO (CAL y A3SE)

Se usa un programa que realiza operaciones con matrices llamado Computer Assisted Learning of Structural Analysis : CAL (Wilson E. 1986). Este programa sirve para calcular las matrices de rigideces laterales de los elementos, para luego , mediante un proceso de ensamblaje, determinar la matriz de rigidez de la estructura (K) . Para esta tesis, la matriz lateral de los

pórticos y de la estructura lo ingresamos en el archivo de datos tomados del programa A3S (ver mas adelante) . Luego se ingresa el Vector de Fuerzas Sísmicas de Reglamento (F) y se resuelve la ecuación matricial $KU = F$ para hallar la matriz de desplazamientos globales U . Finalmente mediante la matriz de localización de cada pórtico (G) , antes ingresadas, se determinan los desplazamientos locales de los pórticos y con la matriz lateral de los pórticos se halla las fuerzas locales de cada pórtico. (luego se calcula los cortantes locales) También se usa un programa desarrollado en lenguaje Fortran A3SE (Scaletti H. 1995) que hace el análisis sísmico pseudo tridimensional estático.

C - METODO DINAMICO ACOPLADO : (A3S)

Se usa el programa para el análisis sísmico pseudo tridimensional dinámico A3S versión 1.4 (Scaletti H.1991). Este programa soluciona el problema de valores propios o característicos dando como resultado las frecuencias (periodos), formas de modo y factores de participación , para luego mediante un análisis modal espectral (es necesario considerar el sismo mediante un espectro de respuesta o de diseño) ,calcular los desplazamientos y fuerzas tanto globales como locales. Para fines académicos el espectro de respuesta se considera plano.

3.3 EFECTOS DE LA VARIACION DE RIGIDEZ

MODELO A

Objetivo :

En este primer modelo, el objetivo principal fue comparar procedimientos de análisis en estructuras con distinta rigidez. Se estudiaron edificios de planta simétrica, de 3 y 5 pisos.

Los resultados que se presentan corresponden a los cortantes y desplazamientos a nivel global. Dada la simetría, los efectos locales, es decir a nivel de cada muro, tienen las mismas tendencias; por eso no se incluyen en el análisis de los resultados.

Descripción :

El modelo A es un modelo simétrico conformado por 8 muros de albañilería (4 en la dirección X y 4 en la dirección Y) dispuestos como se aprecia en la fig. 3.1.

En este caso, manteniendo el resto de parámetros iguales, se hizo variar solamente las longitudes de los muros todos a la vez, es decir en igual proporción.

En este modelo no hay excentricidad, (el centro de masas coincide con el centro de rigidez de los muros), haciéndose la estructura más flexible cuando disminuye la longitud de los muros. Cabe hacer notar que al variar las longitudes de los muros también varían las masas de la estructura.

MODELO A

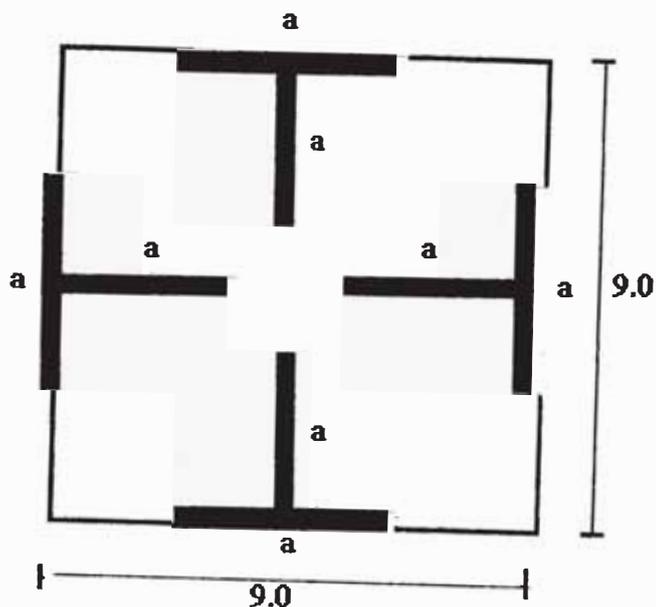


FIG. 3.1

Características del Modelo A :

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
| Espesor de losa | : | 0.12 m |
| Espesor de muros | : | 0.15 m |
| Altura de entrepiso | : | 2.40 m |
| Modulo de Elasticidad de la Albañilería (E_m) | : | 250,000 Tn /m ² |
| Peso específico de la albañilería: | | 1.90 Tn/m ³ |
| Sobrecargas | | |
| Piso típico | : | 200 kg/m ² |
| Ultimo Piso | : | 150 kg/m ² |
| Acabados | : | 100 kg/m ² |
| Características Sísmicas | : | Z=1 U=1 S=1 C=1 Rd=2.5 |
| Número de modos | : | 9 ó 15 (3 veces el número de pisos) |

- Se hace variar la longitud de muros "a" desde 1 m hasta 8 m.
- Se presentan los cortantes globales para cada piso y los desplazamientos globales para cada tipo de análisis (tablas 3.1 y 3.2).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales en la base respecto a la variación de la longitud de los muros (fig. 3.2 y 3.4); así como también para los desplazamientos máximos a nivel global (último piso) fig. 3.3 y 3.5 .
- Para el caso del análisis dinámico del edificio de 5 pisos se presentan además:
 - a) Influencia de la masa efectiva del primer modo respecto de la masa total (tabla 3.3), donde la masa efectiva del modo i es igual al cuadrado de la participación modal del modo i .
 - b) Se varían también el número de modos de vibración (15 , 10 , 5 , 2 y 1 modo) se calculan los cortantes y desplazamientos globales para cada caso y el porcentaje de la masa efectiva de todos los modos considerados respecto a la masa total (tabla 3.4).
 - c) Se hace un gráfico en donde se comparan las fuerzas cortantes a nivel global obtenidas del análisis estático y del análisis dinámico con distinto número de modos (1 y 15 modos) Fig. 3.6.

TABLA 3.1
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO A
(5 PISOS)

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | | | Desplazamientos Globales (cm) | | | | |
|--------|-------------------------|-------|--------|--------|--------|-------------------------------|-------|------|------|------|
| | VG5 | VG4 | VG3 | VG2 | VG1 | DG5 | DG4 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 25.20 | 47.36 | 63.94 | 74.96 | 80.43 | 12.16 | 11.11 | 9.14 | 6.47 | 3.35 |
| 2.00 | 27.24 | 52.53 | 71.47 | 84.04 | 90.25 | 2.28 | 2.09 | 1.72 | 1.22 | 0.63 |
| 3.00 | 29.26 | 57.70 | 78.99 | 93.12 | 100.10 | 1.06 | 0.97 | 0.81 | 0.57 | 0.30 |
| 4.00 | 31.28 | 62.86 | 86.50 | 102.20 | 109.95 | 0.70 | 0.64 | 0.53 | 0.38 | 2.00 |
| 5.00 | 33.30 | 68.02 | 94.01 | 111.27 | 119.80 | 0.54 | 0.49 | 0.41 | 0.29 | 0.15 |
| 6.00 | 35.31 | 73.18 | 101.53 | 120.35 | 129.65 | 0.45 | 0.41 | 0.34 | 0.24 | 0.13 |
| 7.00 | 37.31 | 78.33 | 109.04 | 129.43 | 139.50 | 0.39 | 0.36 | 0.30 | 0.21 | 0.11 |
| 8.00 | 39.31 | 83.48 | 116.55 | 138.50 | 149.35 | 0.35 | 0.33 | 0.27 | 0.19 | 0.10 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | | | Desplazamientos Globales (cm) | | | | |
|--------|-------------------------|-------|--------|--------|--------|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| | VG5 | VG4 | VG3 | VG2 | VG1 | DG5 | DG4 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 25.20 | 47.36 | 63.94 | 74.96 | 80.43 | 234.40 | 169.30 | 107.30 | 53.55 | 15.04 |
| 2.00 | 27.24 | 52.53 | 71.47 | 84.04 | 90.25 | 33.15 | 24.07 | 15.37 | 7.77 | 2.26 |
| 3.00 | 29.26 | 57.70 | 78.99 | 93.12 | 100.10 | 11.12 | 8.14 | 5.26 | 2.71 | 0.83 |
| 4.00 | 31.28 | 62.86 | 86.50 | 102.20 | 109.95 | 5.33 | 3.94 | 2.58 | 1.36 | 0.44 |
| 5.00 | 33.30 | 68.02 | 94.01 | 111.27 | 119.80 | 3.10 | 2.32 | 1.55 | 0.84 | 0.29 |
| 6.00 | 35.31 | 73.18 | 101.53 | 120.35 | 129.65 | 2.05 | 1.55 | 1.05 | 0.58 | 0.21 |
| 7.00 | 37.31 | 78.33 | 109.04 | 129.43 | 139.50 | 1.47 | 1.13 | 0.78 | 0.44 | 0.17 |
| 8.00 | 39.31 | 83.48 | 116.55 | 138.50 | 149.35 | 1.13 | 0.88 | 0.61 | 0.36 | 0.14 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | | | Desplazamientos Globales (cm) | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| | VG5 | VG4 | VG3 | VG2 | VG1 | DG5 | DG4 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 28.49 | 43.10 | 52.73 | 62.02 | 68.90 | 178.10 | 127.80 | 81.36 | 40.85 | 11.59 |
| 2.00 | 31.05 | 47.73 | 58.57 | 69.27 | 77.32 | 28.62 | 20.57 | 13.15 | 6.64 | 1.91 |
| 3.00 | 33.52 | 52.45 | 64.48 | 76.92 | 86.16 | 9.63 | 6.97 | 4.51 | 2.32 | 0.70 |
| 4.00 | 35.84 | 57.27 | 70.57 | 85.11 | 95.15 | 4.63 | 3.38 | 2.22 | 1.17 | 0.38 |
| 5.00 | 38.05 | 62.18 | 76.65 | 93.34 | 104.30 | 2.71 | 1.99 | 1.33 | 0.72 | 0.25 |
| 6.00 | 40.16 | 67.08 | 82.67 | 101.50 | 113.40 | 1.79 | 1.33 | 0.91 | 0.51 | 0.18 |
| 7.00 | 42.20 | 72.36 | 89.01 | 109.80 | 122.70 | 1.30 | 0.98 | 0.67 | 0.39 | 0.15 |
| 8.00 | 43.94 | 77.83 | 97.05 | 118.50 | 132.60 | 0.90 | 0.69 | 0.49 | 0.29 | 0.12 |

CORTANTE EN LA BASE A NIVEL GLOBAL MODELO A (5 pisos)

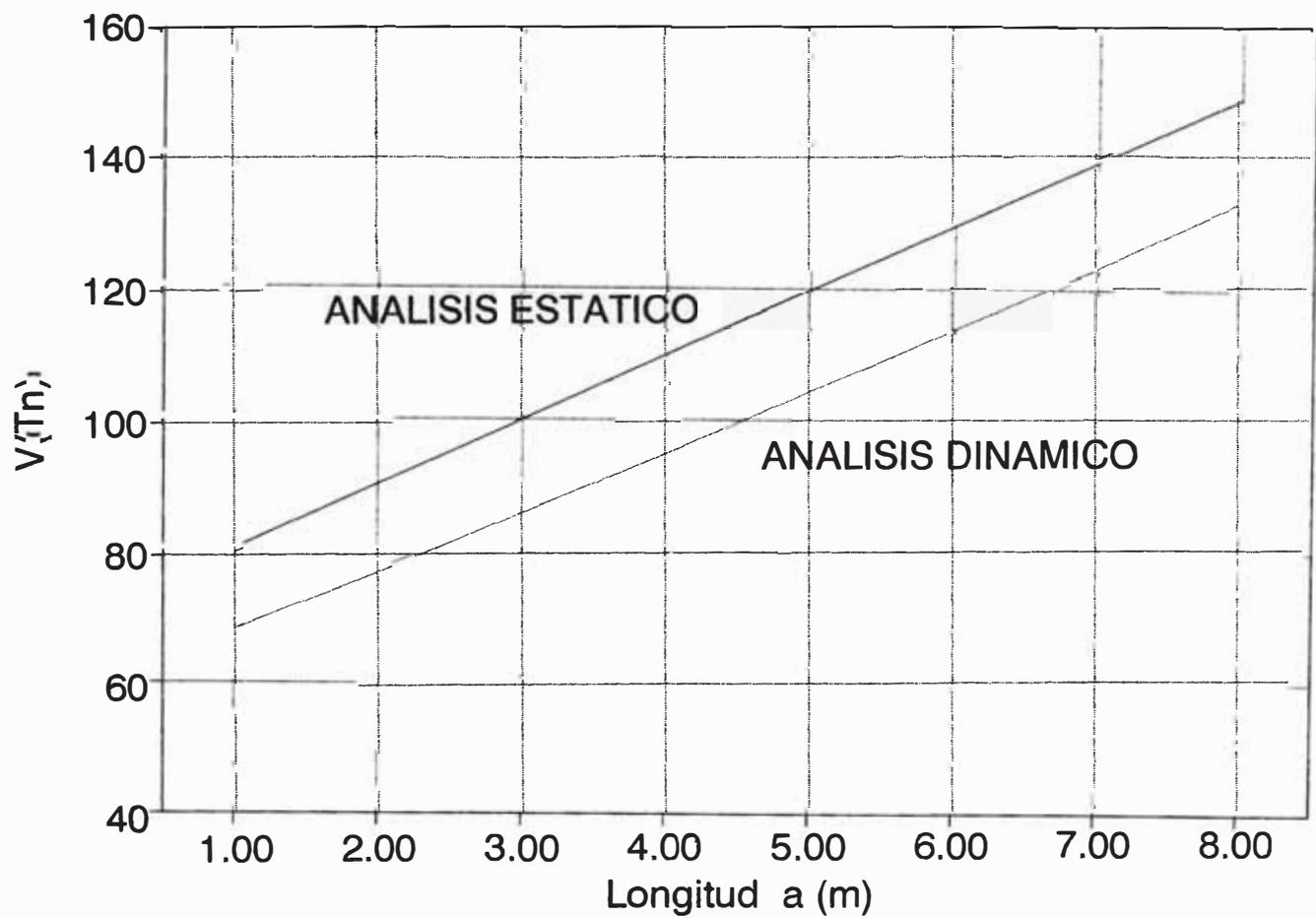


FIG. 3.2

DESPLAZAMIENTO MAXIMO

MODELO A (5 pisos)

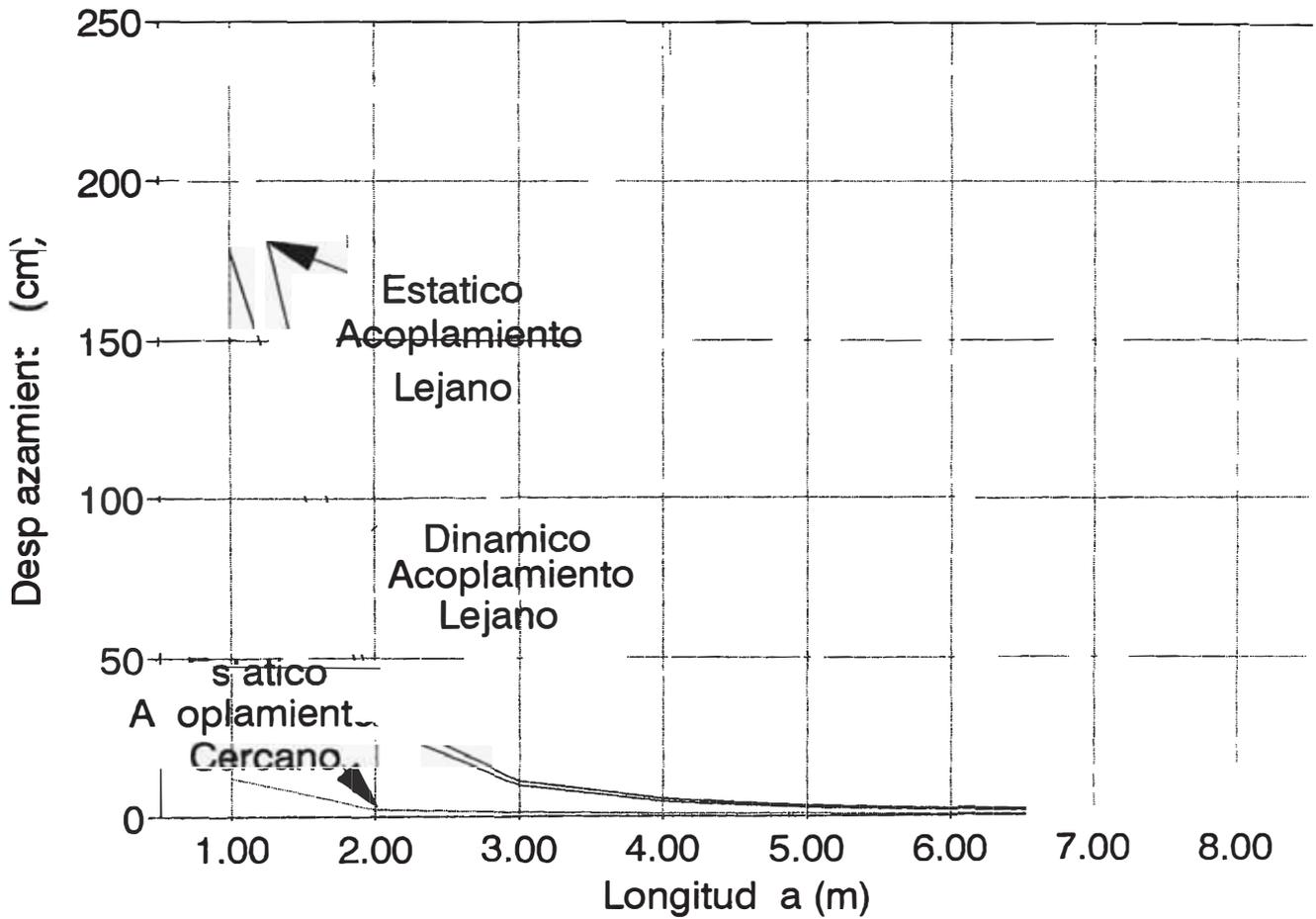


FIG. 3.3

TABLA 3.2
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO A
(3 PISOS)

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | Desplazamientos Globales (cm) | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|-------------------------------|------|------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 22.77 | 39.42 | 47.64 | 4.58 | 3.63 | 1.98 |
| 2.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 0.85 | 0.68 | 0.37 |
| 3.00 | 26.55 | 47.99 | 58.58 | 0.39 | 0.32 | 0.17 |
| 4.00 | 28.43 | 52.28 | 64.06 | 0.26 | 0.21 | 0.11 |
| 5.00 | 30.30 | 56.56 | 69.53 | 0.20 | 0.16 | 0.09 |
| 6.00 | 32.16 | 60.84 | 75.00 | 0.16 | 0.13 | 0.07 |
| 7.00 | 34.03 | 65.12 | 80.47 | 0.14 | 0.12 | 0.06 |
| 8.00 | 35.08 | 69.39 | 85.94 | 0.13 | 0.10 | 0.06 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | Desplazamientos Globales (cm) | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 22.77 | 39.42 | 47.64 | 33.00 | 17.84 | 5.42 |
| 2.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 4.76 | 2.63 | 0.85 |
| 3.00 | 26.55 | 47.99 | 58.58 | 1.66 | 0.95 | 0.33 |
| 4.00 | 28.43 | 52.28 | 64.06 | 0.84 | 0.50 | 0.18 |
| 5.00 | 30.30 | 56.56 | 69.53 | 0.52 | 0.32 | 0.13 |
| 6.00 | 32.16 | 60.84 | 75.00 | 0.36 | 0.23 | 0.10 |
| 7.00 | 34.03 | 65.12 | 80.47 | 0.28 | 0.18 | 0.08 |
| 8.00 | 35.08 | 69.39 | 85.94 | 0.22 | 0.15 | 0.07 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long a | Cortantes Globales (Tn) | | | Desplazamientos Globales (cm) | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | DG3 | DG2 | DG1 |
| 1.00 | 23.53 | 33.83 | 41.93 | 26.45 | 14.29 | 4.39 |
| 2.00 | 25.68 | 37.31 | 46.98 | 3.84 | 2.12 | 0.69 |
| 3.00 | 27.75 | 40.80 | 52.19 | 1.35 | 0.77 | 0.27 |
| 4.00 | 29.72 | 44.38 | 57.54 | 0.70 | 0.41 | 0.16 |
| 5.00 | 31.58 | 48.05 | 62.99 | 0.43 | 0.26 | 0.11 |
| 6.00 | 33.33 | 52.53 | 68.50 | 0.31 | 0.19 | 0.08 |
| 7.00 | 34.99 | 57.08 | 74.06 | 0.24 | 0.15 | 0.07 |
| 8.00 | 36.57 | 61.55 | 79.61 | 0.19 | 0.13 | 0.06 |

CORTANTE EN LA BASE A NIVEL GLOBAL

MODELO A (3 pisos)

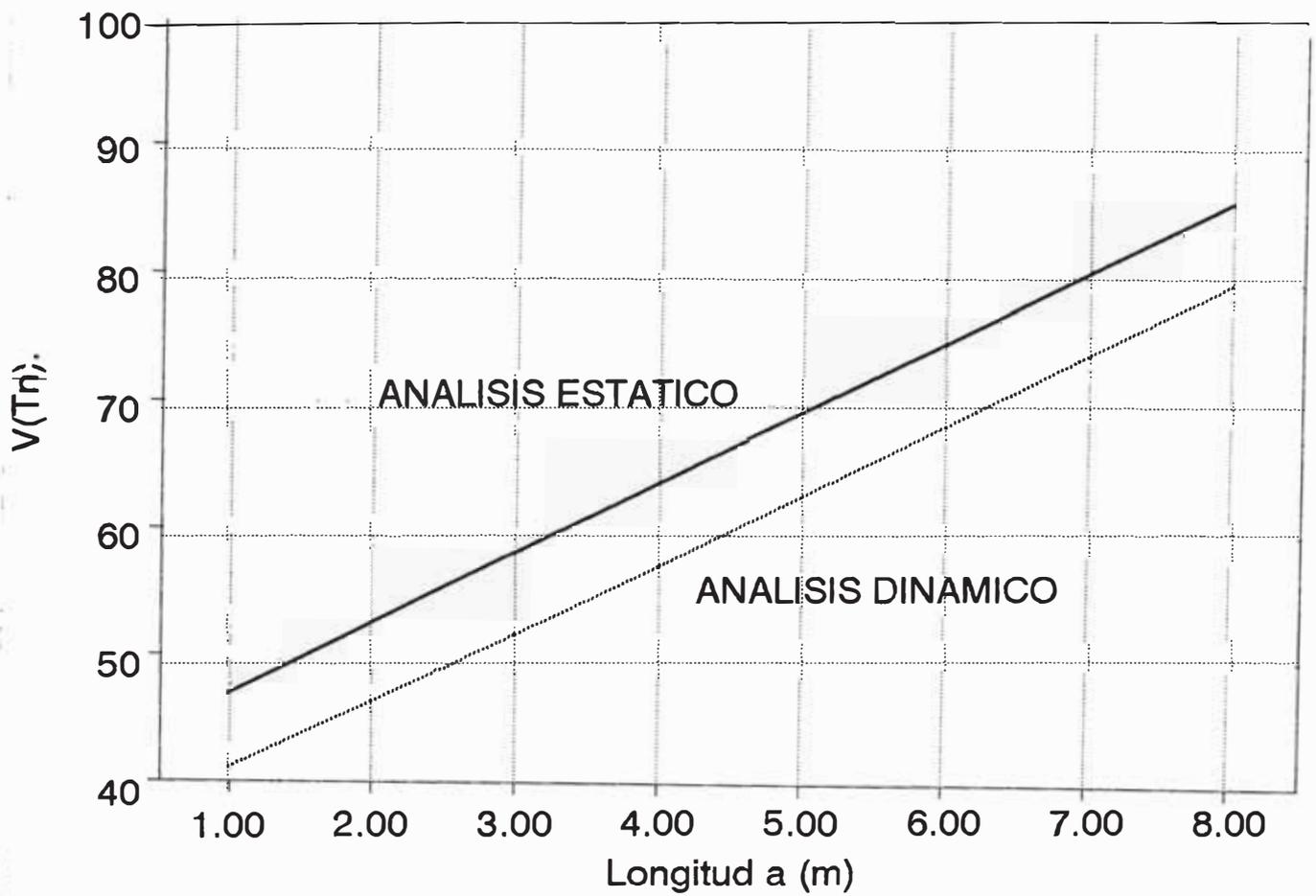


FIG. 3.4

DESPLAZAMIENTO MAXIMO MODELO A (3 pisos)

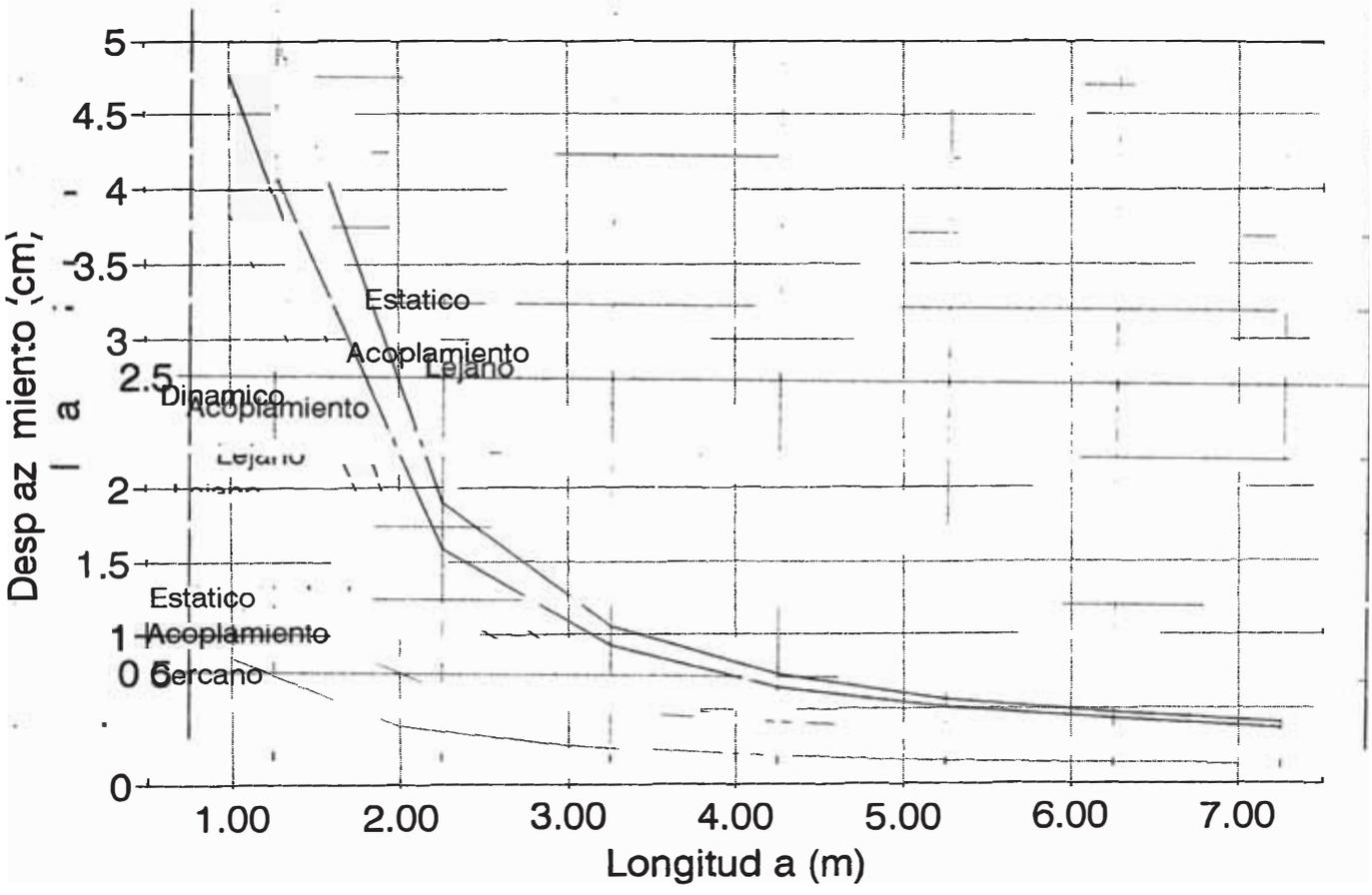


FIG. 3.5

Resultados y Comentarios : Modelo A

CORTANTES

- Las fuerzas cortantes globales son siempre mayores en los métodos estáticos que en los métodos dinámicos, es decir los primeros son más conservadores.

De los resultados, las diferencias de las fuerzas cortantes globales en el primer piso son : (ver fig. 3.2 y 3.4)

| Modelo A | 5 pisos | | | 3 pisos | | |
|-----------------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| | Estático | Dinámico | Dif.(%) | Estático | Dinámico | Dif.(%) |
| Flexible (a=1m) | 80.43 | 68.90 | 14.3 | 47.64 | 41.76 | 12.3 |
| Rígido (a=8m) | 149.35 | 132.60 | 11.2 | 85.94 | 79.24 | 7.8 |

- Puede observarse que los resultados obtenidos para el cortante en la base mediante un análisis dinámico coincidirían con el análisis estático si se supusiera la combinación modal como suma de los valores absolutos de las contribuciones máximas de cada modo. Si se considera otra forma de combinación modal se está suponiendo que los máximos de cada modo no son simultáneos y por lo tanto se obtienen con el análisis dinámico valores menores que con el análisis estático. Las diferencias serían poco significativas si el primer modo fuera dominante y las contribuciones de los modos superiores fueran comparativamente pequeñas. La participación del primer modo en el cortante en la base es mayor cuanto más rígida es la estructura; esto se aprecia en la tabla 3.3, que compara las masas efectivas (expresadas como porcentaje de la masa total) en los edificios de 3 y 5 pisos (modelo A) con distintas rigideces.

TABLA 3.3
INFLUENCIA DE LA MASA EFECTIVA DEL PRIMER MODO
RESPECTO A LA MASA TOTAL
MODELO A

| (5 PISOS) | | | | (3 PISOS) | | | |
|--------------------|----------------|----------------|--------------|--------------------|----------------|---------------|--------------|
| Long. a | Mtotal (Tn) | Mef 1er.mod | % Mef(1m) | Long. a | Mtotal (Tn) | Mef 1er.mo | % Mef(1m) |
| 1.00 | 20.49 | 13.89 | 67.79 | 1.00 | 12.14 | 8.81 | 72.57 |
| 2.00 | 23.00 | 15.67 | 68.13 | 2.00 | 13.54 | 9.94 | 73.38 |
| 3.00 | 25.51 | 17.56 | 68.84 | 3.00 | 14.93 | 11.19 | 74.95 |
| 4.00 | 28.02 | 19.55 | 69.77 | 4.00 | 16.33 | 12.54 | 76.81 |
| 5.00 | 30.53 | 21.66 | 70.95 | 5.00 | 17.72 | 13.97 | 78.84 |
| 6.00 | 33.04 | 23.85 | 72.19 | 6.00 | 19.11 | 15.44 | 80.78 |
| 7.00 | 35.55 | 26.13 | 73.50 | 7.00 | 20.51 | 16.92 | 82.48 |
| 8.00 | 38.06 | 28.48 | 74.83 | 8.00 | 21.90 | 18.40 | 84.00 |

TABLA 3.4
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DINAMICO CONSIDERANDO
DISTINTOS NUMERO DE MODOS (COMBINACION DEL R.N.C.)
MODELO A (5 pisos)

A5-1 FLEXIBLE

| # | Cortantes Globales (Tn) | | | | | Desplazamientos Globales (cm) | | | | | %MeT |
|----|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | VG5 | VG4 | VG3 | VG2 | VG1 | DG5 | DG4 | DG3 | DG2 | DG1 | |
| 15 | 28.49 | 43.10 | 52.73 | 62.02 | 68.90 | 178.10 | 127.80 | 81.36 | 40.85 | 11.59 | 100.0 |
| 10 | 28.33 | 42.68 | 52.19 | 61.51 | 65.82 | 178.10 | 127.80 | 81.36 | 40.85 | 11.59 | 99.00 |
| 5 | 25.88 | 40.70 | 49.69 | 60.27 | 64.23 | 178.10 | 127.70 | 81.31 | 40.77 | 11.50 | 88.80 |
| 2 | 20.90 | 37.46 | 47.89 | 53.06 | 54.50 | 177.10 | 127.50 | 80.34 | 39.90 | 11.08 | 88.80 |
| 1 | 20.90 | 37.46 | 47.89 | 53.06 | 54.50 | 177.10 | 127.50 | 80.34 | 39.80 | 11.08 | 67.80 |

A5-8 RIGIDO

| # | Cortantes Globales (Tn) | | | | | Desplazamientos Globales (cm) | | | | | %MeT |
|----|-------------------------|-------|-------|--------|--------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | VG5 | VG4 | VG3 | VG2 | VG1 | DG5 | DG4 | DG3 | DG2 | DG1 | |
| 15 | 43.94 | 77.83 | 97.05 | 118.50 | 132.60 | 0.90 | 0.69 | 0.49 | 0.29 | 0.12 | 100.0 |
| 10 | 43.70 | 77.39 | 96.60 | 118.20 | 132.50 | 0.90 | 0.69 | 0.49 | 0.29 | 0.12 | 99.10 |
| 5 | 40.14 | 76.00 | 93.06 | 115.60 | 128.90 | 0.90 | 0.69 | 0.49 | 0.29 | 0.12 | 95.10 |
| 2 | 32.27 | 67.57 | 92.09 | 106.30 | 111.80 | 0.89 | 0.69 | 0.48 | 0.28 | 0.11 | 95.10 |
| 1 | 32.27 | 67.57 | 92.09 | 106.30 | 111.80 | 0.89 | 0.69 | 0.48 | 0.28 | 0.11 | 74.80 |

% MeT: Porcentaje de la suma de masas efectivas respecto a la masa total

COMPARACION DE LAS FUERZAS GORTANTES OBTENIDAS DEL ANALISIS
ESTATICO Y DEL ANALISIS DINAMICO CON DISTINTO NUMERO DE MODOS

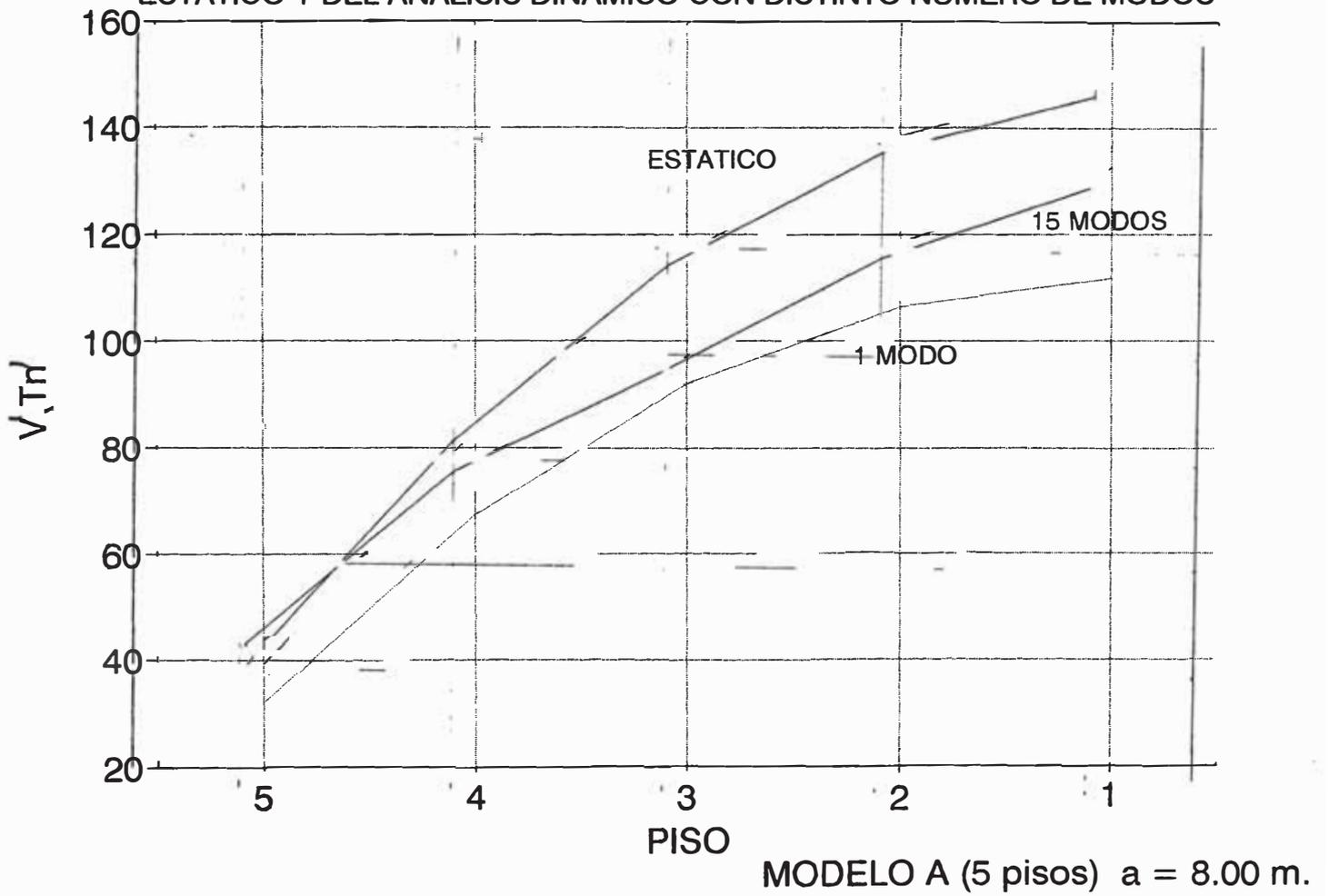


FIG. 3.6

- En la tabla 3.4 , se hacen comparaciones de cortantes a nivel global entre análisis dinámicos considerando la contribución de todos los modos , es decir 3n=15 modos; 10 , 5 , 2 modos y también considerando sólo el primer modo; se muestra también la participación de la masa efectiva del primer modo con respecto a la masa total.
- Se observa que cuando se hace un análisis dinámico con un solo modo los cortantes globales son iguales a los cortantes globales de un análisis estático afectado por el porcentaje de participación de la masa efectiva de ese modo respecto de la masa total.

Así para el caso del modelo con $a = 1$ m. (A5-1), los cortantes globales en el primer piso resultan :

$$V_{GDinamico(1\ modo)} = V_{GEstatico} \times \%M_{Efectiva}$$

– 80.43 x 67.8% = 54.5 Tn.

- Puede concluirse , que las discrepancias entre el análisis estático y el análisis dinámico de una estructura de albañilería, habitualmente rígida, serían proporcionalmente menores que las observadas al analizar una estructura aporticada de muchos pisos, más flexible; en los modelos estudiados los cortantes solo difieren aproximadamente 12 %. Por lo tanto el análisis estático resulta apropiado en una estructura rígida, mientras que en una estructura flexible podría ser antieconómico e incorrecto.

DESPLAZAMIENTOS

- Los desplazamientos globales varían considerablemente en los modelos de acoplamiento lejano en comparación con los de acoplamiento cercano.

De los resultados, las diferencias de los desplazamientos globales en el último piso son : (ver fig. 3.3 y 3.5)

| Modelo A | 5 pisos | | | 3 pisos | | |
|-----------------|------------------|-----------------|---------|------------------|-----------------|---------|
| | Acoplam. Cercano | Acoplam. Lejano | Dif.(%) | Acoplam. Cercano | Acoplam. Lejano | Dif.(%) |
| Flexible (a=1m) | 178.1 | 12.16 | 93.2 | 29.65 | 4.58 | 84.6 |
| Rígido (a=8m) | 0.9 | 0.35 | 61.1 | 0.21 | 0.13 | 38.1 |

- Los desplazamientos globales son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) porque además del desplazamiento por traslación se considera el desplazamiento por efecto de giro de los muros, lo que no ocurre con un análisis con acoplamiento cercano.
- Sin embargo, lo que requiere cuantificarse es la deformación (y en consecuencia el esfuerzo) en los muros ; los desplazamientos de cuerpo rígido no son importantes. Por lo tanto los resultados obtenidos del análisis con un modelo de acoplamiento cercano son en este caso más útiles que aquellos que proporciona el programa típico de análisis con modelos de acoplamiento lejano.

MODELO B

Objetivo :

En este segundo modelo , el objetivo fue también comparar procedimientos de análisis para edificios de albañilería con distinta rigidez, pero considerando en este caso acciones excéntricas. La distribución de fuerzas no es uniforme; por lo tanto se presentan, además de las fuerzas cortantes a nivel global, las fuerzas cortantes y desplazamientos para uno de los muros.

Descripción :

El modelo B es un modelo simétrico conformado por 4 muros de albañilería (2 en la dirección X y 2 en la dirección Y) dispuestos como se aprecia en la fig. 3.7. En este modelo se mantuvieron todos los parámetros iguales excepto por la posición de los muros; estos se consideraron dispuestos simétricamente variando, las distancias indicadas como "b" en la fig. 3.7 desde 4.0 m hasta 1.0 m. En todos los casos se tuvo una excentricidad fija $e=0.45$ m.

Cabe hacer notar que al variar solo las posiciones de los muros no varían las masas de la estructura.

Características del Modelo B :

El modelo B corresponde a un edificio de 3 pisos en donde las características son las mismas que las del modelo A.

MODELO B

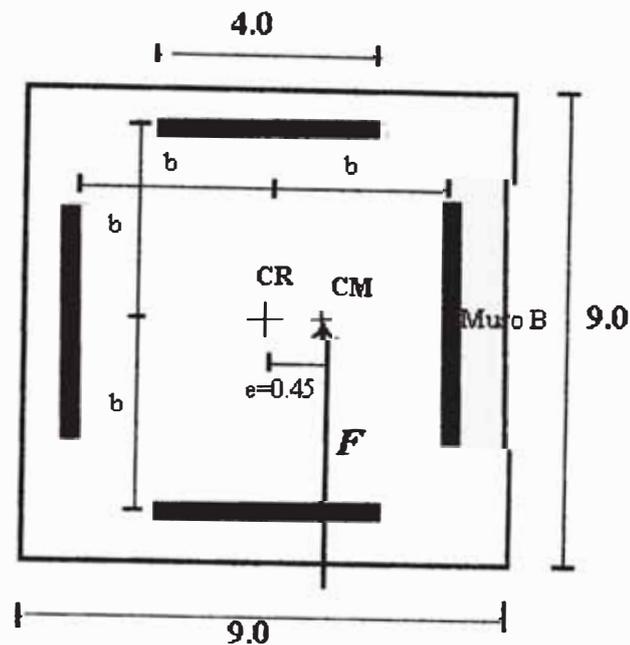


FIG. 3.7

- Las longitudes de los muros son todos de 4.0 m en todos los pisos
- Se hace variar la posición de todos los muros respecto al centro de rigidez desde una posición $b = 4.0$ m , 3.0 m , 2.0 m. y 1.0 m.
- Para este modelo se considera una excentricidad fija para todos los casos: $e = 0.45$ en la dirección X , la que resulta de mover el centro de masas 0.45 m. respecto al centro de rigidez.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección Y en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro B (Tabla 3.5).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la posición de los muros (fig. 3.8) ; un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.9) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.10) .

TABLA 3.5
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO B
(3 PISOS)

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Dist b | Muro B | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 23.08 | 28.05 | 0.455 | 0.363 | 0.199 |
| 3.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.26 | 23.49 | 28.55 | 0.464 | 0.370 | 0.203 |
| 2.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 24.31 | 29.54 | 0.480 | 0.383 | 0.210 |
| 1.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 26.77 | 32.53 | 0.529 | 0.421 | 0.231 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Dist b | Muro B | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 23.08 | 28.05 | 1.489 | 0.880 | 0.324 |
| 3.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.26 | 23.49 | 28.55 | 1.515 | 0.895 | 0.330 |
| 2.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 24.31 | 29.54 | 1.568 | 0.926 | 0.341 |
| 1.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 26.77 | 32.53 | 1.726 | 1.020 | 0.376 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Dist b | Muro B | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 |
| 4.00 | 25.45 | 37.02 | 47.55 | 14.13 | 20.53 | 26.39 | 1.284 | 0.758 | 0.288 |
| 3.00 | 24.57 | 35.61 | 45.88 | 15.30 | 22.21 | 28.58 | 1.388 | 0.820 | 0.312 |
| 2.00 | 24.73 | 35.86 | 46.17 | 12.75 | 18.33 | 23.77 | 1.143 | 0.675 | 0.258 |
| 1.00 | 25.31 | 36.81 | 47.29 | 14.30 | 20.61 | 26.67 | 1.286 | 0.759 | 0.290 |

ANALISIS DINAMICO CON 9 MODOS

CORTANTES EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO B (3 pisos)

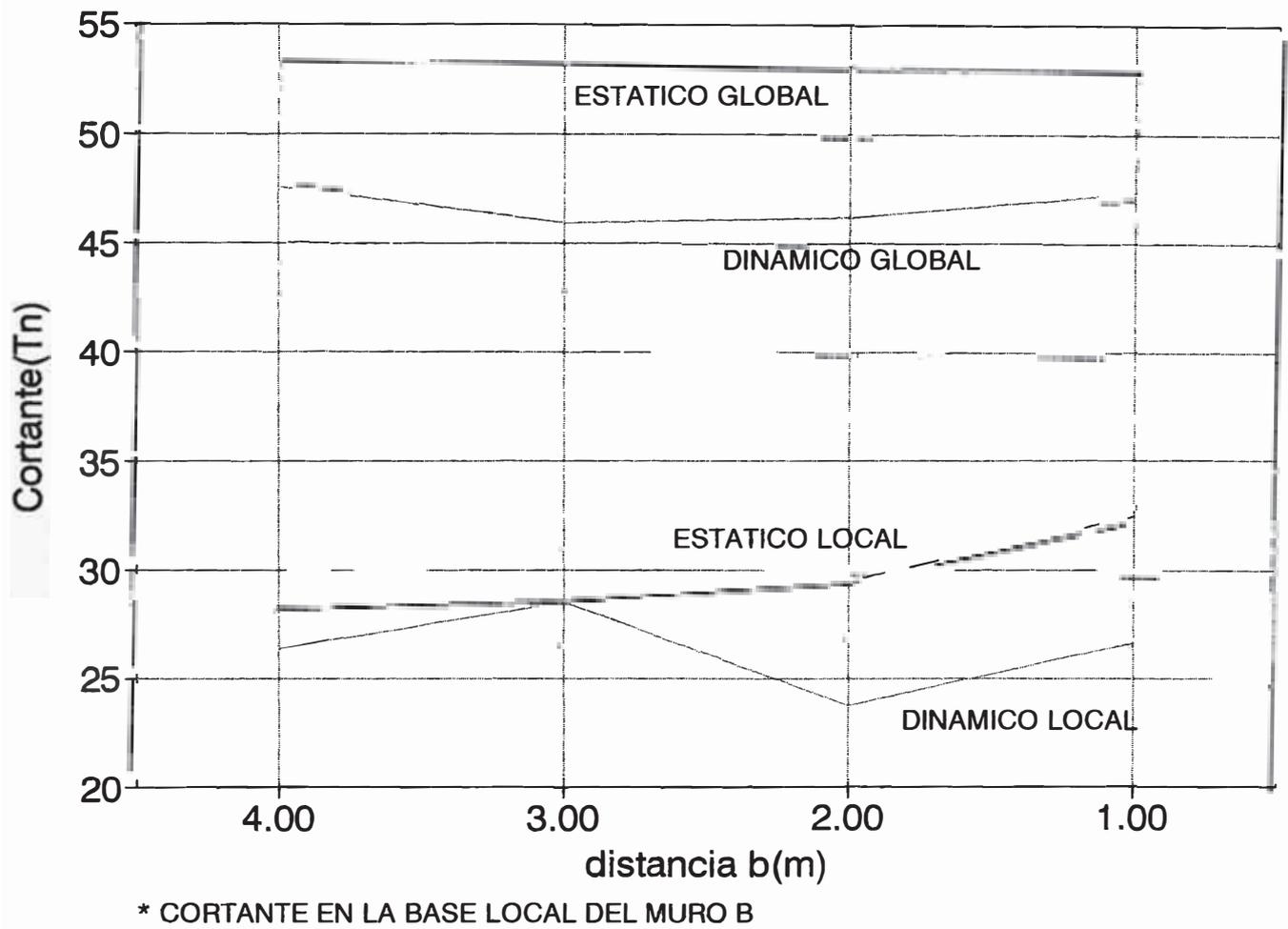


FIG. 3.8

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL MODELO B (3 pisos)

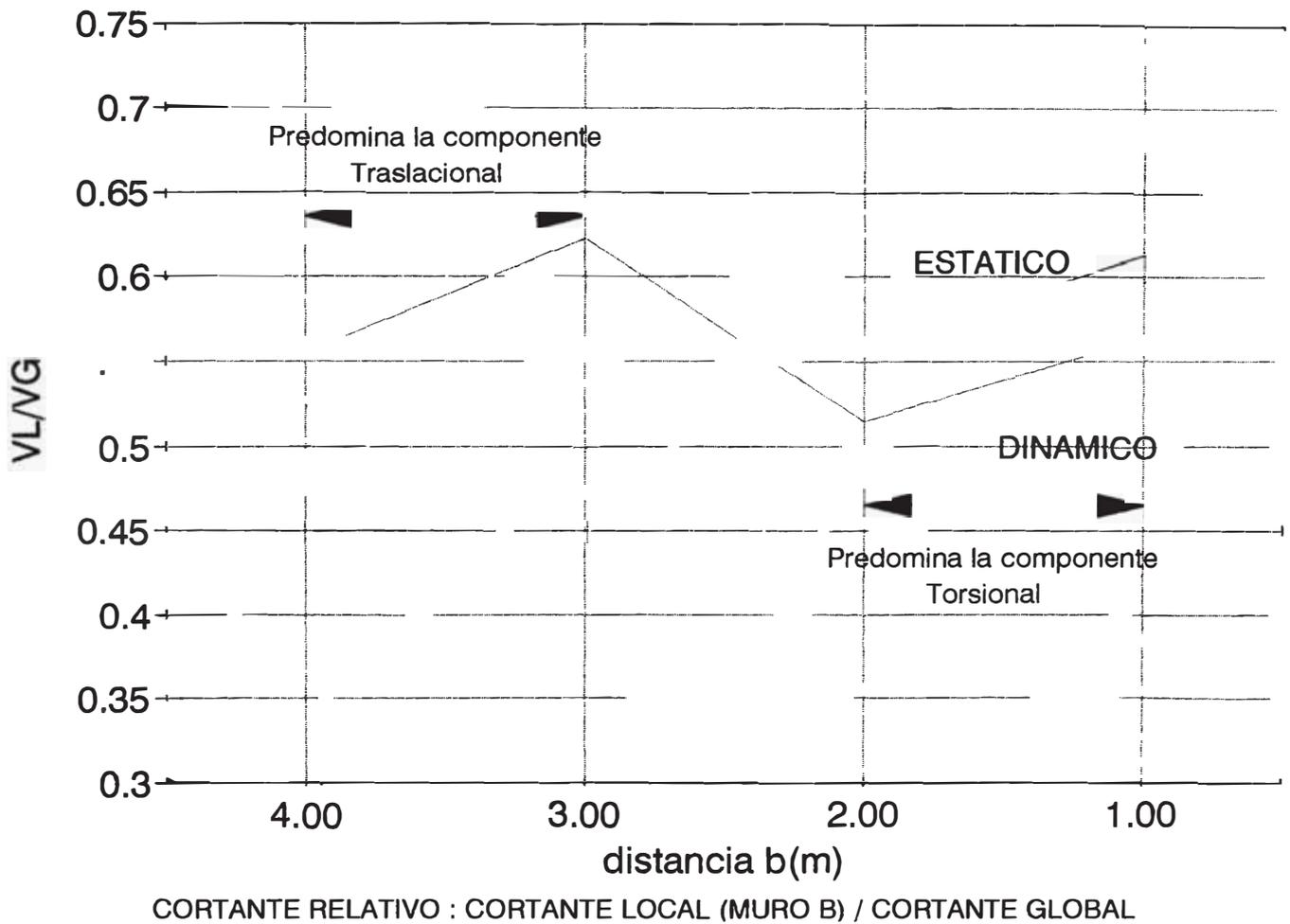


FIG. 3.9

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO B (3 pisos)

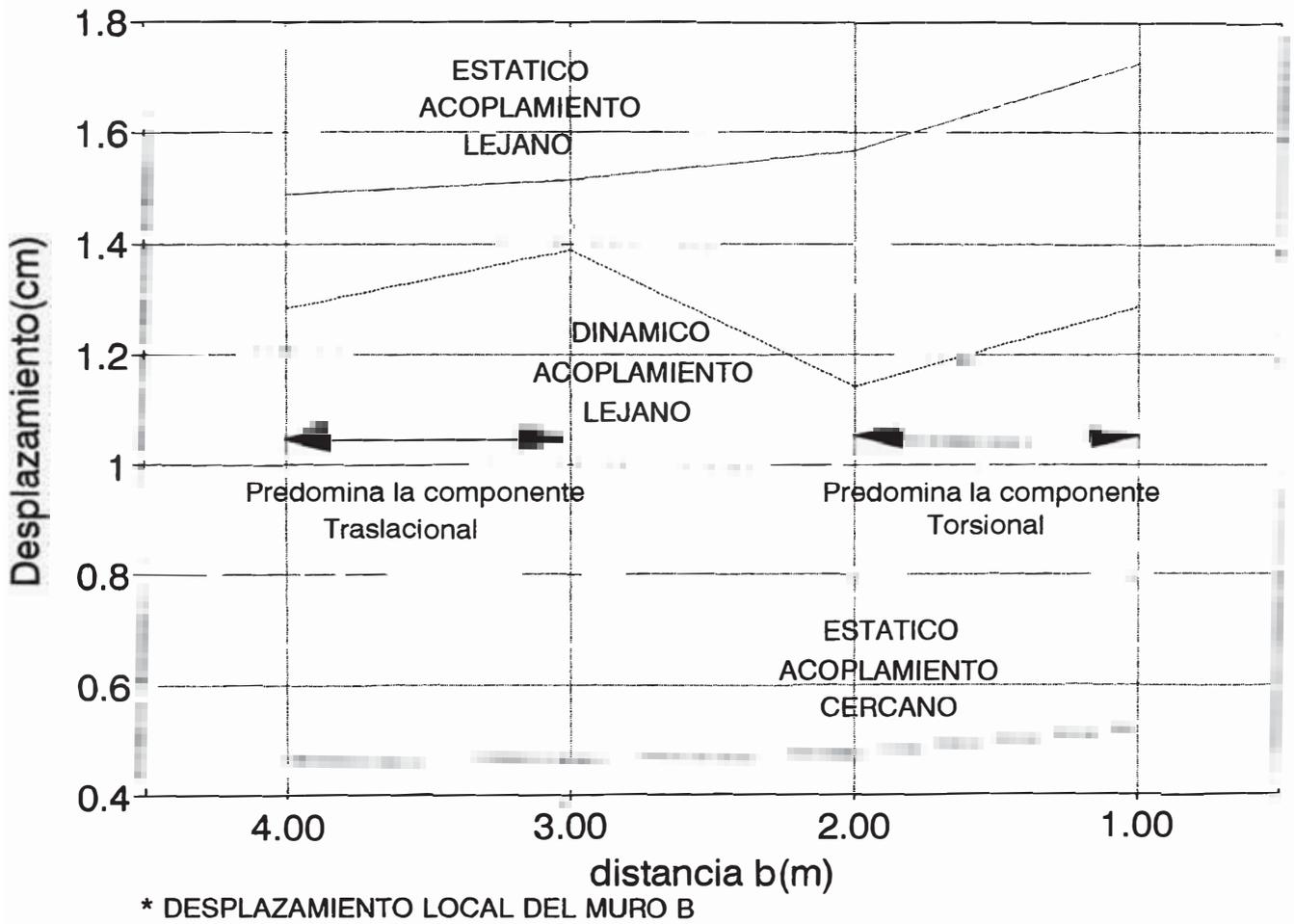


FIG. 3.10

Resultados y Comentarios : Modelo B

CORTANTES

- De los resultados presentados en la tabla 3.5, se observa también que siempre las fuerzas cortantes son mayores en los métodos estáticos que en los métodos dinámicos.
- Se observa también que, a pesar de existir excentricidad, las fuerzas cortantes a nivel local de muro B son iguales cuando se hace tanto un análisis estático con acoplamiento cercano como cuando se hace un análisis estático con acoplamiento lejano.
- Las fuerzas cortantes a nivel local del muro B en el análisis estático aumentan cuando el muro B se acerca al centro de masa (b disminuye) porque si bien la excentricidad se mantuvo constante en valor absoluto en los distintos análisis, al reducirse " b " y por lo tanto la rigidez torsional, la excentricidad en términos relativos a " b " aumenta. Lo contrario ocurre para el muro A, en el lado opuesto, donde el efecto de torsión reduce el correspondiente a la traslación
- Se observa que las fuerzas cortantes tanto a nivel global como a nivel local del muro B en el análisis dinámico disminuyen y luego aumentan cuando se hace variar la distancia b (ver tabla 3.5 y fig.3.7). Esto se explica porque existe un cambio en el comportamiento sísmico de la estructura. Al reducir la distancia " b " el edificio tiene menos rigidez torsional, es decir se hace torsionalmente mas flexible. Para " b " muy pequeño la torsión tiene en el muro B mas importancia que el efecto de traslación.

Para una mejor visión del comportamiento de la estructura cuando varía la posición " b " de los muros, en la tabla 3.6 se resumen los factores de participación Γ obtenidos para cada modo en cada caso. Se nota que cuando

el muro está más lejos del centro de masa ($b=4.0$ m) el primer modo es traslacional; pero cuando los muros se van acercando (hasta $b=1.0$ m), el primer modo es principalmente torsional.

- En las tablas 3.7 al 3.10 se observa el procedimiento para el cálculo de los cortantes de la base en la dirección Y para cada modo. Nótese que cuando se reduce la distancia "b", hay modos superiores que son importantes.
- En estas tablas se nota el análisis dinámico con un solo modo para las estructuras torsionalmente flexibles ($b=2.0$, $b=1.0$) , resulta los cortantes mucho menores, porque la participación del primer modo es poco importante al considerar las acciones en dirección Y, mientras que la influencia de algunos modos superiores es muy significativas.:

| Modelo B | $b = 4.0$ | $b = 3.0$ | $b = 2.0$ | $b = 1.0$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15 modos | 47.547 | 45.876 | 46.171 | 47.287 |
| 3 modos | 40.697 | 39.084 | 39.367 | 40.445 |
| 1 modo | 40.540 | 37.129 | 3.096 | 0.822 |

- Se puede apreciar que existe un cambio brusco de comportamiento en el análisis dinámico; mientras que inicialmente el comportamiento es predominantemente traslacional, luego cuando "b" es menor, torsionalmente más flexible, el cortante es predominantemente torsional.

TABLA 3.6
FACTORES DE PARTICIPACION CORRESPONDIENTE A LOS 3 GRADOS
DE LIBERTAD PARA CADA MODO DEL ANALISIS DINAMICO
MODELO B

b = 4.0

| Modo | u | v | Θ |
|------|--------|---------|----------|
| 1 | 0.0000 | 3.2142 | 1.0366 |
| 2 | 3.2266 | -0.0000 | -0.0000 |
| 3 | 0.0000 | -0.2821 | 11.8119 |
| 4 | 0.0000 | 1.6680 | 0.5380 |
| 5 | 1.6744 | -0.0000 | -0.0000 |
| 6 | 0.0000 | -0.1464 | 6.1296 |
| 7 | 0.0000 | 0.5597 | 0.1805 |
| 8 | 0.5619 | -0.0000 | -0.0000 |
| 9 | 0.0000 | -0.0491 | 2.0570 |

b = 3.0

| Modo | u | v | Θ |
|------|--------|---------|----------|
| 1 | 0.0000 | 3.0760 | 3.5797 |
| 2 | 3.2266 | -0.0000 | -0.0000 |
| 3 | 0.0000 | -0.9741 | 11.3040 |
| 4 | 0.0000 | 1.5962 | 1.8579 |
| 5 | 1.6744 | -0.0000 | -0.0000 |
| 6 | 0.0000 | -0.5056 | 5.8660 |
| 7 | 0.0000 | 0.5357 | 0.6235 |
| 8 | 0.5619 | -0.0000 | -0.0000 |
| 9 | 0.0000 | -0.1697 | 1.9685 |

b = 2.0

| Modo | u | v | Θ |
|------|---------|--------|----------|
| 1 | 0.0000 | 0.8882 | 11.3992 |
| 2 | 3.2266 | 0.0000 | -0.0000 |
| 3 | -0.0000 | 3.1019 | -3.2640 |
| 4 | 0.0000 | 0.4609 | 5.9155 |
| 5 | 1.6744 | 0.0000 | -0.0000 |
| 6 | -0.0000 | 1.6097 | -1.6937 |
| 7 | 0.0000 | 0.1547 | 1.9851 |
| 8 | 0.5619 | 0.0000 | -0.0000 |
| 9 | -0.0000 | 0.5402 | -0.5684 |

b = 1.0

| Modo | u | v | Θ |
|------|---------|--------|----------|
| 1 | 0.0000 | 0.4577 | 11.7373 |
| 2 | 3.2266 | 0.0000 | -0.0000 |
| 3 | -0.0000 | 3.1939 | -1.6822 |
| 4 | 0.0000 | 0.2375 | 6.0909 |
| 5 | 0.0000 | 0.0797 | 2.0440 |
| 6 | 1.6744 | 0.0000 | -0.0000 |
| 7 | -0.0000 | 1.6574 | -0.8729 |
| 8 | 0.5619 | 0.0000 | -0.0000 |
| 9 | -0.0000 | 0.5562 | -0.2929 |

**CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE EN LA BASE (TN)
MODELO B**

Masa 3er.piso 4.07 Tn-s2/m
Masa 2do.piso 4.73 Tn-s2/m
Masa 1er.piso 4.73 Tn-s2/m

TABLA 3.7

| Modo | w | Sa | Γ_i | X3i | X2i | X1i | Accler3 | Accler2 | Accler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|------|---------|-------|------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 1 | 21.165 | 3.924 | 3.21421 | 0.41005 | 0.24001 | 0.08670 | 5.1718 | 3.0271 | 1.0935 | 21.049 | 14.318 | 5.172 | 40.540 | |
| 2 | 21.279 | 3.924 | -0.00001 | -0.00000 | -0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 32.934 | 3.924 | -0.28207 | -0.03599 | -0.02106 | -0.00761 | 0.0398 | 0.0233 | 0.0084 | 0.162 | 0.110 | 0.040 | 0.312 | |
| 4 | 84.432 | 3.924 | 1.66797 | -0.24022 | 0.23656 | 0.32278 | -1.5723 | 1.5483 | 2.1126 | -6.399 | 7.323 | 9.993 | 10.917 | |
| 5 | 84.889 | 3.924 | -0.00001 | 0.00000 | -0.00000 | -0.00000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 6 | 131.379 | 3.924 | -0.14638 | 0.02108 | -0.02076 | -0.02833 | -0.0121 | 0.0119 | 0.0163 | -0.049 | 0.056 | 0.077 | 0.084 | |
| 7 | 152.159 | 3.924 | 0.55974 | 0.13406 | -0.31022 | 0.31321 | 0.2944 | -0.6814 | 0.6879 | 1.198 | -3.223 | 3.254 | 1.229 | |
| 8 | 152.983 | 3.924 | -0.00000 | -0.00000 | 0.00000 | -0.00000 | 0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 9 | 236.764 | 3.924 | -0.04913 | -0.01177 | 0.02723 | -0.02749 | 0.0023 | -0.0052 | 0.0053 | 0.009 | -0.025 | 0.025 | 0.009 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs): | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC : | 42.003 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn): | 47.547 |

TABLA 3.8

| Modo | w | Sa | Γ_i | X3i | X2i | X1i | Accler3 | Accler2 | Accler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|------|---------|-------|------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 1 | 20.863 | 3.924 | 3.07602 | 0.39242 | 0.22969 | 0.08297 | 4.7367 | 2.7724 | 1.0015 | 19.278 | 13.113 | 4.737 | 37.129 | |
| 2 | 21.279 | 3.924 | -0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 25.058 | 3.924 | -0.97409 | -0.12427 | -0.07274 | -0.02627 | 0.4750 | 0.2780 | 0.1004 | 1.933 | 1.315 | 0.475 | 3.723 | |
| 4 | 83.227 | 3.924 | 1.59623 | -0.22989 | 0.22639 | 0.30890 | -1.4399 | 1.4180 | 1.9348 | -5.861 | 6.707 | 9.152 | 9.998 | |
| 5 | 84.889 | 3.924 | -0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 6 | 99.961 | 3.924 | -0.50556 | 0.07281 | -0.07170 | -0.09783 | -0.1444 | 0.1422 | 0.1941 | -0.588 | 0.673 | 0.918 | 1.003 | |
| 7 | 149.987 | 3.924 | 0.53566 | 0.12829 | -0.29688 | 0.29974 | 0.2697 | -0.6240 | 0.6300 | 1.098 | -2.952 | 2.980 | 1.126 | |
| 8 | 152.983 | 3.924 | -0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 9 | 180.144 | 3.924 | -0.16966 | -0.04064 | 0.09403 | -0.09494 | 0.0271 | -0.0626 | 0.0632 | 0.110 | -0.296 | 0.299 | 0.113 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs): | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC : | 38.661 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn): | 45.876 |

**CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE EN LA BASE (TN)
MODELO B-**

Masa 3er.piso : 4.07 Tn-s2/m
Masa 2do.piso : 4.73 Tn-s2/m
Masa 1er.piso : 4.73 Tn-s2/m

b = 2.0

TABLA 3.9

| Modo | w | Sa | Fi | X3i | X2i | X1i | Aceler3 | Aceler2 | Aceler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|------|---------|-------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------------|
| 1 | 16.098 | 3.924 | 0.88820 | 0.11331 | 0.06632 | 0.02396 | 0.3949 | 0.2312 | 0.0835 | 1.607 | 1.093 | 0.395 | 3.096 | |
| 2 | 21.279 | 3.924 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 21.649 | 3.924 | 3.10191 | 0.39573 | 0.23162 | 0.08367 | 4.8167 | 2.8192 | 1.0184 | 19.604 | 13.335 | 4.817 | 37.756 | |
| 4 | 64.220 | 3.924 | 0.46088 | -0.06638 | 0.06536 | 0.08919 | -0.1200 | 0.1182 | 0.1613 | -0.489 | 0.559 | 0.763 | 0.833 | |
| 5 | 84.889 | 3.924 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 6 | 86.364 | 3.924 | 1.60970 | -0.23183 | 0.22830 | 0.31150 | -1.4643 | 1.4420 | 1.9676 | -5.960 | 6.821 | 9.307 | 10.168 | |
| 7 | 115.733 | 3.924 | 0.15466 | 0.03704 | -0.08571 | 0.08654 | 0.0225 | -0.0520 | 0.0525 | 0.091 | -0.246 | 0.248 | 0.094 | |
| 8 | 152.983 | 3.924 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 9 | 155.642 | 3.924 | 0.54019 | -0.12938 | -0.29939 | 0.30227 | 0.2742 | -0.6346 | 0.6407 | 1.116 | -3.002 | 3.031 | 1.145 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs): | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC : | 39.249 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn): | 46.171 |

b = 1.0

TABLA 3.10

| Modo | w | Sa | Fi | X3i | X2i | X1i | Aceler3 | Aceler2 | Aceler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|------|---------|-------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------------|
| 1 | 8.118 | 3.924 | 0.45774 | 0.05840 | 0.03418 | 0.01235 | 0.1049 | 0.0614 | 0.0222 | 0.427 | 0.290 | 0.105 | 0.822 | |
| 2 | 21.279 | 3.924 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 21.465 | 3.924 | 3.19393 | 0.40747 | 0.23849 | 0.08615 | 5.1068 | 2.9890 | 1.0797 | 20.785 | 14.138 | 5.107 | 40.030 | |
| 4 | 32.385 | 3.924 | 0.23754 | -0.03421 | 0.03369 | 0.04597 | -0.0319 | 0.0314 | 0.0428 | -0.130 | 0.149 | 0.203 | 0.221 | |
| 5 | 58.362 | 3.924 | 0.07970 | 0.01909 | -0.04418 | 0.04460 | 0.0060 | -0.0138 | 0.0139 | 0.024 | -0.065 | 0.066 | 0.025 | |
| 6 | 84.889 | 3.924 | 0.00000 | -0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 7 | 85.631 | 3.924 | 1.65744 | -0.23871 | 0.23507 | 0.32074 | -1.5525 | 1.5288 | 2.0860 | -6.319 | 7.231 | 9.867 | 10.780 | |
| 8 | 152.983 | 3.924 | 0.00000 | 0.00000 | -0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 9 | 154.320 | 3.924 | 0.55621 | -0.13321 | -0.30827 | 0.31123 | 0.2907 | -0.6728 | 0.6793 | 1.183 | -3.182 | 3.213 | 1.214 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs): | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC : | 41.482 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn): | 47.287 |

DESPLAZAMIENTOS

- De la tabla 3.5 se confirma como en el caso anterior (Modelo A), que los desplazamientos , en este caso locales del muro B, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) porque además del desplazamiento por traslación se considera el desplazamiento por efecto de giro de los muros, lo que no ocurre con un análisis con acoplamiento cercano.
- En el caso del análisis dinámico, así como con las fuerzas cortantes, los desplazamientos también sufren la misma tendencia de variación al variar la distancia b de los muros respecto al centro de masas. Esto es lógico porque para la determinación de los desplazamientos (globales o locales), también intervienen las formas de modo y los factores de participación de todos los modos considerados. En la figura 3.10 se puede apreciar que para el análisis dinámico, el desplazamiento máximo sufre un cambio brusco debido al cambio de comportamiento sísmico de la estructura, de un comportamiento traslacional a un comportamiento torsional.

3.4 ESTRUCTURAS SIMÉTRICAS BAJO LA ACCIÓN DE FUERZAS EXCÉNTRICAS

MODELO C

Objetivo :

En este modelo, al igual que el anterior, el objetivo es comparar los procedimientos de análisis, considerando también acciones excéntricas. En este caso, manteniendo a los muros en una posición fija, se hace variar la posición del centro de masas.

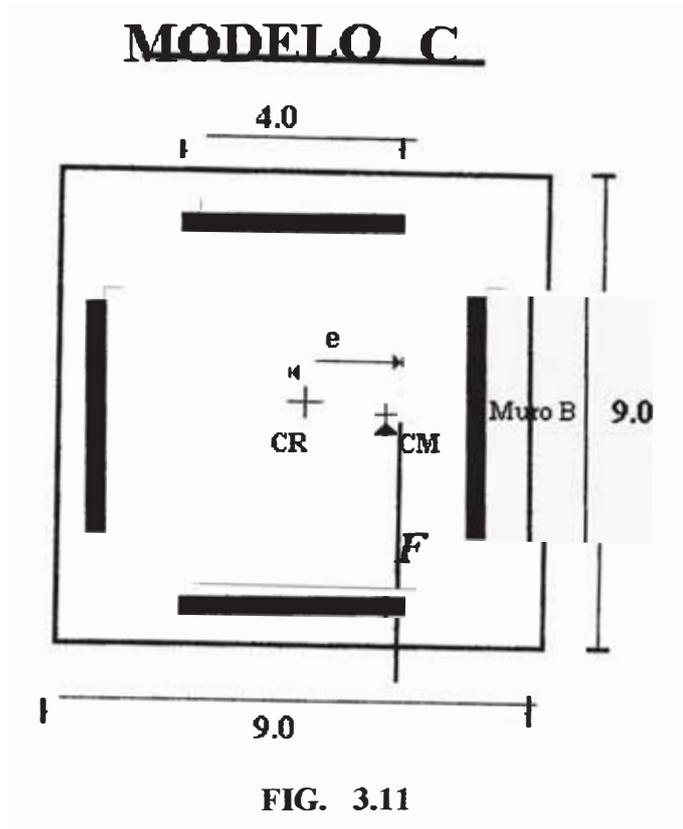
Para este modelo, cuya planta es igual a la del modelo B anterior, se presentan también las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro B.

Descripción :

El modelo C es igual que el modelo B, con planta simétrica y 4 muros de albañilería dispuestos como se ve en la figura 3.11.

En este modelo no varía la posición de los muros para variar la excentricidad relativa, sino que ahora varía la excentricidad (e) moviendo el centro de masas CM desde una posición coincidente con el centro de rigidez CR de los muros ($e=0.0$), hasta una posición del CM de $e=2.70$ m del CR.

Como en el caso anterior, al variar la posición del centro de masas, no varían las masas de la estructura. En este caso se supuso adicionalmente que el momento polar de inercia de las masas, J , no varía; algunos análisis adicionales realizados con distintos valores de J indican que este no es muy significativo, salvo en casos de excentricidades inusualmente grandes.



Características del Modelo C :

El modelo C estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

- Las longitudes de los muros son todas de 4.0 m en todos los pisos.
- Se hace variar la excentricidad moviendo el centro de masas en la dirección X respecto al centro de rigidez en posiciones: $e = 0.0$, 0.45 , 0.90 , 1.80 y 2.70 m.
- Se debe mencionar que para este modelo la variación de las excentricidades se realiza simultáneamente en todos los niveles del edificio. Un caso no uniforme en altura se considerará en el modelo D.
- Para cada tipo de análisis, se calculan los cortantes globales en la dirección Y en cada piso; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro B. (Tabla 3.11)

- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la excentricidad (fig. 3.12) ; un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.13) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.14) .

TABLA 3.11
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO C

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| | | | | | | | | | | Muro B |
|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | | |
| Excen | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | VL/VG |
| 0.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 0.432 | 0.344 | 0.189 | 0.500 |
| 0.45 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 23.08 | 28.05 | 0.456 | 0.363 | 0.199 | 0.528 |
| 0.90 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 24.31 | 29.54 | 0.480 | 0.383 | 0.210 | 0.556 |
| 1.80 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 26.77 | 32.53 | 0.529 | 0.421 | 0.231 | 0.613 |
| 2.70 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 16.50 | 29.23 | 35.52 | 0.577 | 0.560 | 0.252 | 0.669 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B |
|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | | |
| Excen | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | VL/VG |
| 0.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 1.409 | 0.833 | 0.307 | 0.500 |
| 0.45 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 23.08 | 28.05 | 1.489 | 0.880 | 0.324 | 0.528 |
| 0.90 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 24.31 | 29.54 | 1.568 | 0.926 | 0.341 | 0.556 |
| 1.80 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 26.77 | 32.53 | 1.726 | 1.020 | 0.376 | 0.613 |
| 2.70 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 16.50 | 29.23 | 35.52 | 1.885 | 1.114 | 0.410 | 0.669 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B |
|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | | |
| Excen | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | VL/VG |
| 0.00 | 25.54 | 37.16 | 47.71 | 12.77 | 18.58 | 23.85 | 1.163 | 0.686 | 0.261 | 0.500 |
| 0.45 | 25.45 | 37.02 | 47.55 | 14.13 | 20.53 | 26.39 | 1.284 | 0.758 | 0.288 | 0.555 |
| 0.90 | 25.24 | 36.69 | 47.15 | 15.10 | 21.93 | 28.20 | 1.372 | 0.810 | 0.308 | 0.598 |
| 1.80 | 24.76 | 35.91 | 46.23 | 16.24 | 23.61 | 30.34 | 1.477 | 0.872 | 0.331 | 0.656 |
| 2.70 | 24.45 | 35.42 | 45.64 | 17.10 | 24.89 | 31.95 | 1.557 | 0.919 | 0.349 | 0.700 |

ANALISIS DINAMICO CON 9 MODOS

CORTANTES EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO C (3 pisos)

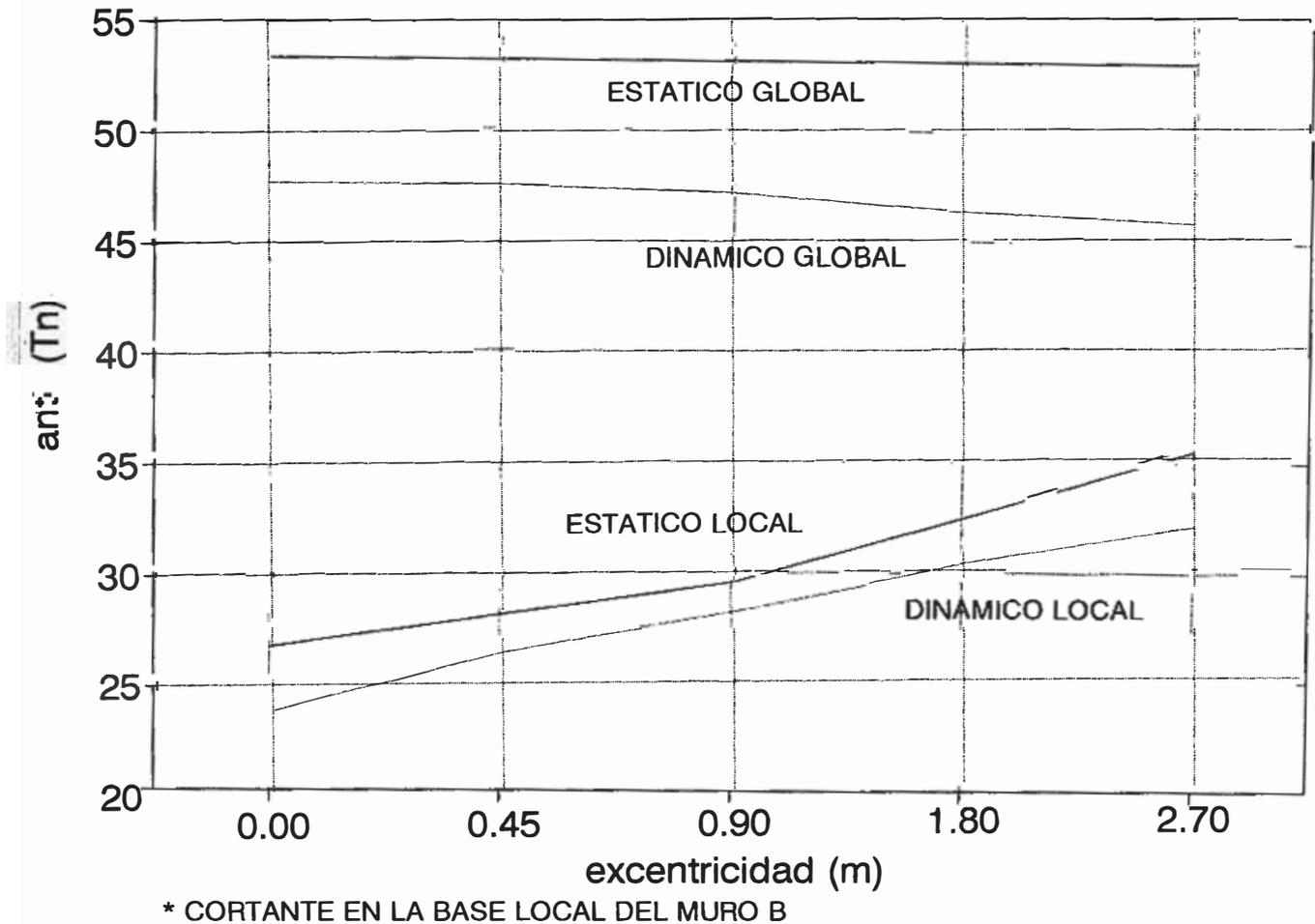


FIG. 3.12

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL
MODELO C (3 pisos)

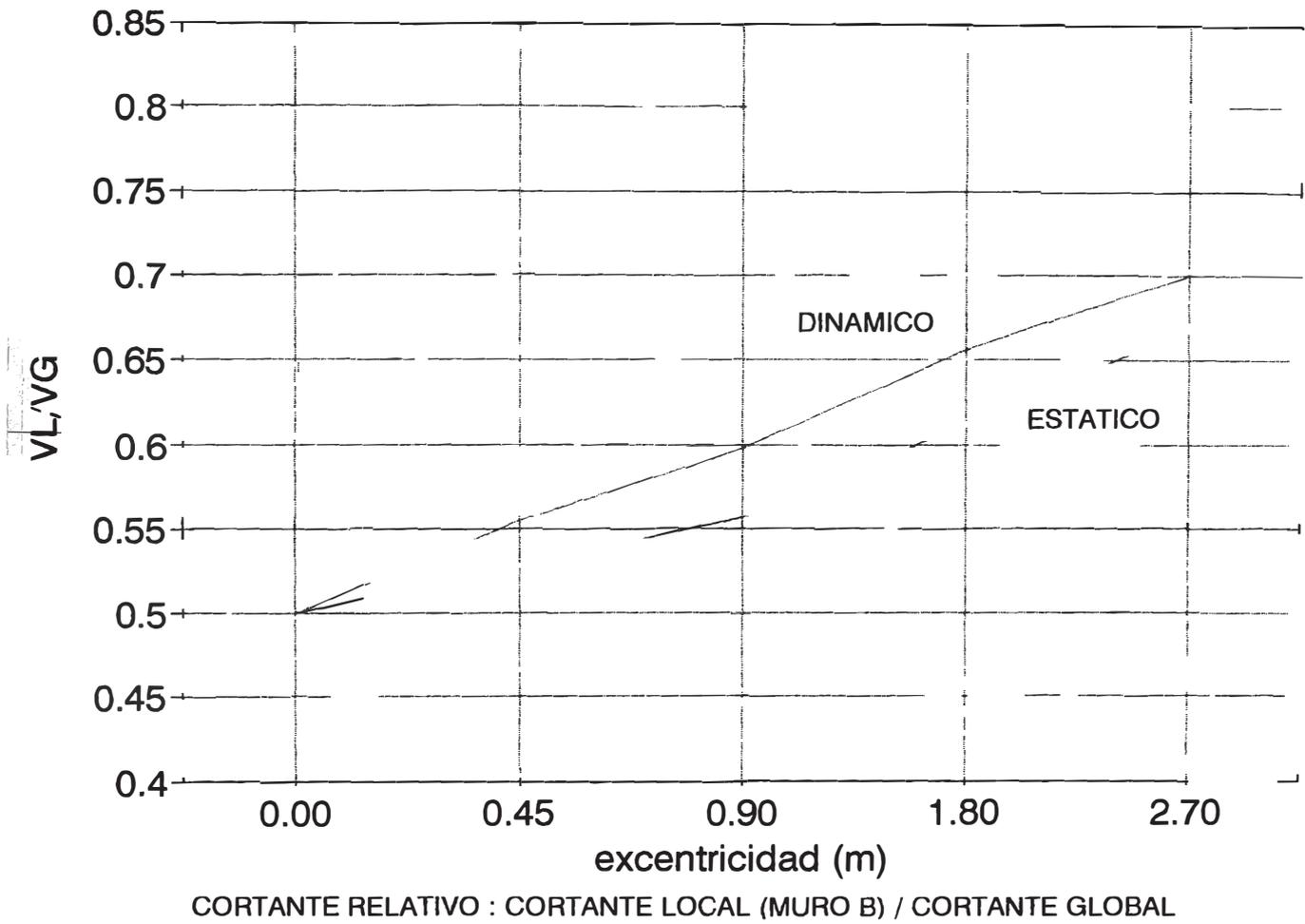
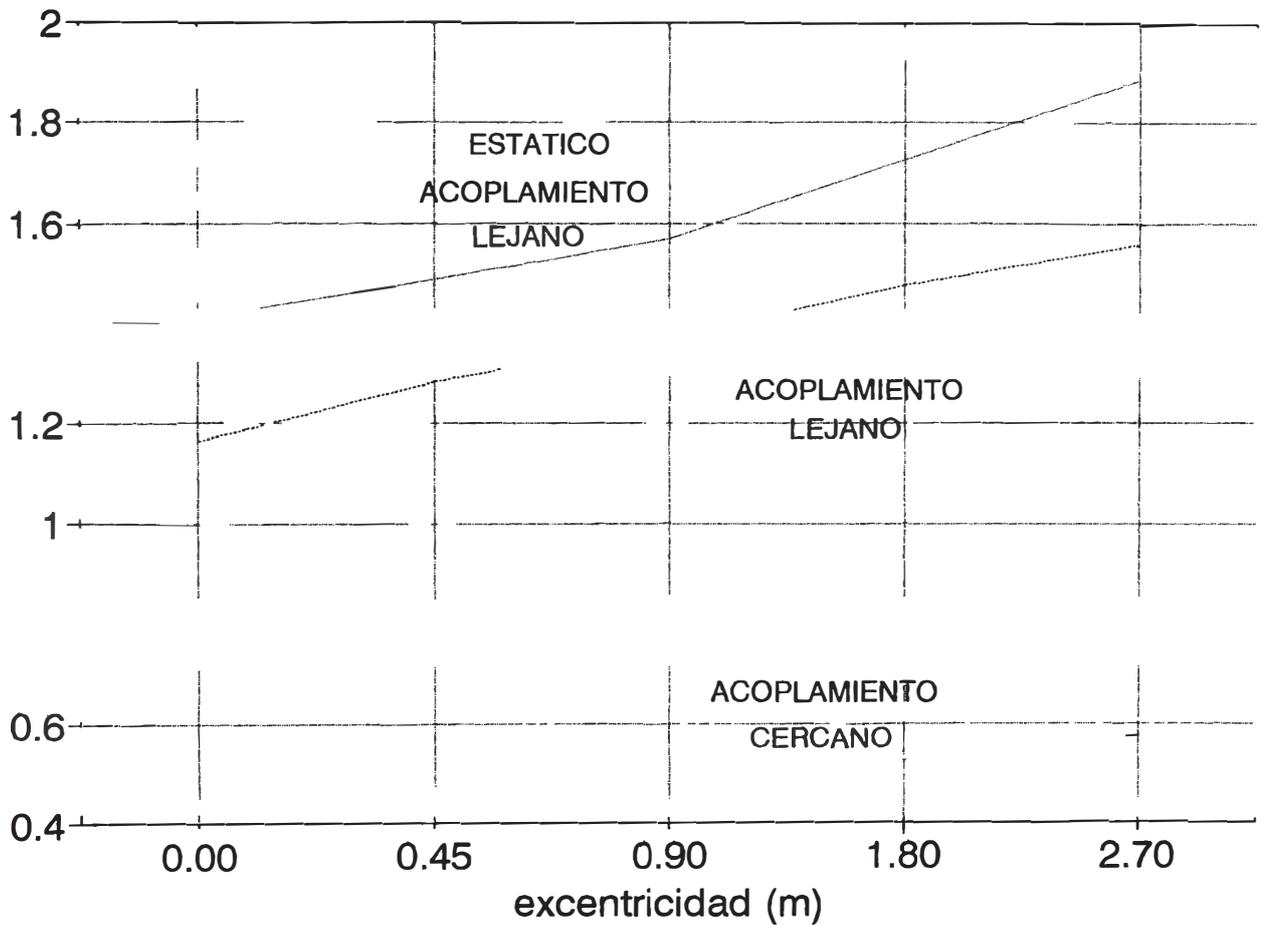


FIG. 3.13

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO C (3 pisos)



* DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL DEL MURO B

FIG. 3.14

Resultados y Comentarios : Modelo C

CORTANTES

- Se observa que siempre las fuerzas cortantes son mayores en los métodos estáticos que en los métodos dinámicos..
- También, a pesar de existir excentricidad, las fuerzas cortantes a nivel local de muro B son iguales cuando se hace tanto un análisis estático con acoplamiento cercano que un análisis estático con acoplamiento lejano.
- Las fuerzas cortantes a nivel local del muro B aumentan en todos los métodos cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez, ya que al hacer esto la fuerza sísmica en la dirección Y (que actúa en el centro de masa) se va acercando al muro B incidiendo mas en este muro, en cambio para el muro opuesto (Muro A), los cortantes disminuyen.
- Los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) son mayores en el análisis dinámico que en el análisis estático. Esto indica que el análisis dinámico puede resultar en una estimación más conservadora de los efectos de torsión, en términos relativos a los efectos traslacionales, que la obtenida por métodos estáticos. Sin embargo, siendo los efectos globales estimados por métodos estáticos mayores que los correspondientes resultados con métodos dinámicos, lo anterior no llega a apreciarse siempre con claridad.
- Para las fuerzas cortantes a nivel global en el análisis dinámico, se observa que disminuyen cuando hay más excentricidad. Esto se da, como en el caso anterior, porque cuando varía la excentricidad ocurre un cambio en el comportamiento sísmico de la estructura. Este cambio de comportamiento sísmico se puede apreciar en las tablas 3.12 y 3.13 , en las que se presentan las fuerzas cortantes en la base correspondiente a cada modo de vibración para los casos extremos ($e=0.0$ y $e=2.70$).

- Para el caso donde no hay excentricidad ($e=0.00$) los modos predominantes para la componente de sismo en la dirección Y son los modos 1 , 4 y 7 . En cambio en el caso donde hay más excentricidad ($e=2.70$) la contribución de los modos 1 , 4 y 7 se reduce, aumentando en cambio la de los modos torsionales 3 , 6 y 9.

DESPLAZAMIENTOS

- Se confirma como en los casos anteriores que los desplazamientos , en este caso locales del muro B, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) que en el análisis con acoplamiento cercano porque además del desplazamiento por traslación se considera el desplazamiento por efecto de giro de los muros.
- Los desplazamientos a nivel local del muro B aumentan en todos los métodos (como en el caso de las fuerzas cortantes locales) cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez, porque al hacer esto la fuerza sísmica en la dirección Y (que actúa en el centro de masas) se va acercando al muro B incidiendo mas en este muro.

**CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE EN LA BASE (TN)
MODELO C**

Masa 3er.piso : 4.07 Tn-s2/m
Masa 2do.piso : 4.73 Tn-s2/m
Masa 1er.piso : 4.73 Tn-s2/m

e = 0.00

TABLA 3.12

| Mod | w | Sa | Γ_i | X3i | X2i | X1i | Aceler3 | Aceler2 | Aceler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|-----|---------|-------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------------|
| 1 | 21.279 | 3.924 | 3.2266 | 0.4116 | 0.2409 | 0.0870 | 5.2117 | 3.0504 | 1.1019 | 21.211 | 14.428 | 5.212 | 40.852 | |
| 2 | 21.313 | 3.924 | -0.0000 | -0.0000 | -0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 32.783 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 4 | 84.889 | 3.924 | 1.6744 | -0.2411 | 0.2375 | 0.3240 | -1.5844 | 1.5602 | 2.1289 | -6.448 | 7.380 | 10.070 | 11.001 | |
| 5 | 84.979 | 3.924 | -0.0000 | 0.0000 | -0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 6 | 130.741 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 7 | 152.983 | 3.924 | 0.5619 | 0.1346 | -0.3114 | 0.3144 | 0.2967 | -0.6866 | 0.6932 | 1.208 | -3.248 | 3.279 | 1.239 | |
| 8 | 153.112 | 3.924 | -0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 9 | 235.587 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs) | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC | : 42.325 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn) | 47.708 |

e = 2.70

TABLA 3.13

| Mod | w | Sa | Γ_i | X3i | X2i | X1i | Aceler3 | Aceler2 | Aceler1 | Fuerza3 | Fuerza2 | Fuerza1 | V base | |
|-----|---------|-------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------------|
| 1 | 15.759 | 3.924 | 3.0273 | 0.3862 | 0.2260 | 0.0817 | 4.5878 | 2.6852 | 0.9700 | 18.672 | 12.701 | 4.588 | 35.962 | |
| 2 | 21.279 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 3 | 44.232 | 3.924 | -1.1163 | -0.1424 | -0.0834 | -0.0301 | 0.6239 | 0.3651 | 0.1319 | 2.539 | 1.727 | 0.624 | 4.890 | |
| 4 | 62.866 | 3.924 | -1.5710 | 0.2262 | -0.2228 | -0.3040 | -1.3947 | 1.3735 | 1.8740 | -5.676 | 6.497 | 8.864 | 9.684 | |
| 5 | 84.889 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 6 | 113.293 | 3.924 | -0.5272 | -0.1263 | 0.2922 | -0.2950 | 0.2612 | -0.6044 | 0.6102 | 1.063 | -2.859 | 2.886 | 1.091 | |
| 7 | 152.983 | 3.924 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 8 | 176.450 | 3.924 | -0.5793 | 0.0834 | -0.0822 | -0.1121 | -0.1897 | 0.1868 | 0.2549 | -0.772 | 0.883 | 1.206 | 1.317 | |
| 9 | 317.987 | 3.924 | -0.1944 | -0.0466 | 0.1078 | -0.1088 | 0.0355 | -0.0822 | 0.0830 | 0.145 | -0.389 | 0.393 | 0.148 | |
| | | | | | | | | | | | | | Sum(Abs) | 53.092 |
| | | | | | | | | | | | | | RCSC | : 37.602 |
| | | | | | | | | | | | | | RNC (Tn) | 45.347 |

MODELO D

Objetivo :

El objetivo en este modelo es igual que el del modelo anterior, es decir comparar los procedimientos de análisis en edificios de albañilería con distinta rigidez, considerando también en este caso acciones excéntricas. Si embargo, en este caso sólo se considera excentricidad en el último nivel.

Se da esta variación porque en muchas edificaciones, especialmente de albañilería, el último nivel varía respecto a los otros niveles, siendo en la mayoría de los casos las plantas menores (en área y en masas).

Descripción :

El modelo D es exactamente igual que el modelo C, con planta simétrica y 4 muros de albañilería dispuestos como se ve en la figura 3.15.

Al igual que el modelo C se hace variar la excentricidad (e) moviendo el centro de masas CM desde una posición coincidente con el centro de rigidez CR de los muros ($e=0.0$), hasta una posición del CM de $e=2.70$ m del CR pero solo en el último nivel.

Como en el caso anterior, al variar la posición del centro de masas, no varían las masas de la estructura. Se ha considerado además al momento polar de inercia de las masas como constante.

Características del Modelo D :

El modelo D estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

MODELO D

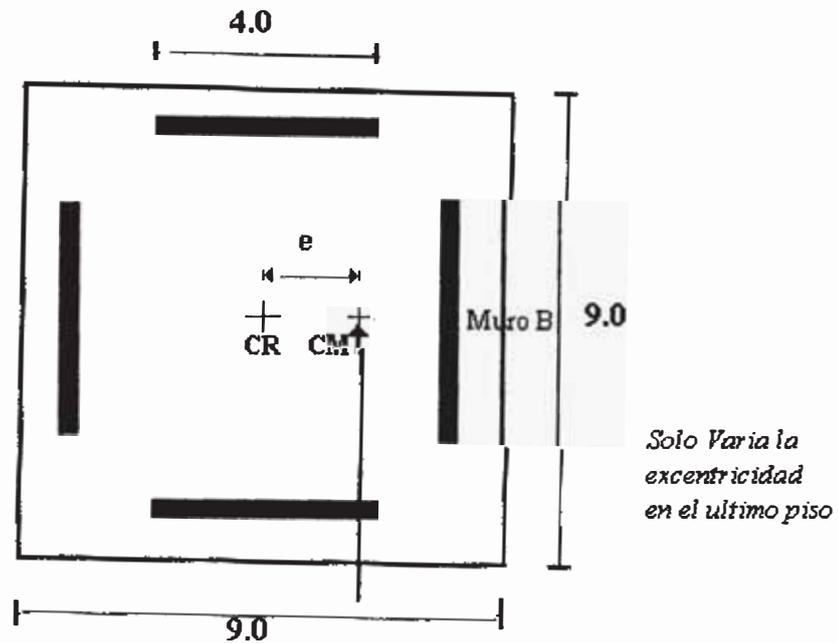


FIG. 3.15

- Las longitudes de los muros son todos de 4.0 m en todos los pisos.
- Se hace variar la excentricidad en la dirección X solo en el último nivel (tercer piso) moviendo el centro de masas CM respecto al centro de rigidez CR en posiciones : $e = 0.00 \text{ m}$, 0.45 m , 0.90 m , 1.80 m y 2.70 m .
- Se calculan los cortantes globales en la dirección Y en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro B (Tabla 3.14).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la excentricidad (fig. 3.16) ; un gráfico para los cortantes relativos ($V_{\text{Local}}/V_{\text{Global}}$) (fig. 3.17) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.18) .

TABLA 3.13
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO D

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Excen | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|-------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 0.432 | 0.344 | 0.189 | 0.500 |
| 0.45 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 22.55 | 27.25 | 0.446 | 0.354 | 0.194 | 0.513 |
| 0.90 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 23.24 | 27.94 | 0.461 | 0.364 | 0.199 | 0.526 |
| 1.80 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 24.63 | 29.33 | 0.491 | 0.383 | 0.208 | 0.552 |
| 2.70 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 16.50 | 26.02 | 30.72 | 0.520 | 0.403 | 0.218 | 0.578 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Excen | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|-------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 1.409 | 0.833 | 0.307 | 0.500 |
| 0.45 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.03 | 22.55 | 27.25 | 1.462 | 0.862 | 0.317 | 0.513 |
| 0.90 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 13.72 | 23.24 | 27.94 | 1.516 | 0.891 | 0.326 | 0.526 |
| 1.80 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 15.11 | 24.63 | 29.33 | 1.622 | 0.949 | 0.346 | 0.552 |
| 2.70 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 16.50 | 26.02 | 30.72 | 1.728 | 1.007 | 0.365 | 0.578 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Excen | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|-------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 25.54 | 37.16 | 47.71 | 12.77 | 18.58 | 23.85 | 1.163 | 0.686 | 0.261 | 0.500 |
| 0.45 | 25.48 | 37.05 | 47.57 | 13.87 | 19.91 | 25.34 | 1.254 | 0.739 | 0.279 | 0.533 |
| 0.90 | 25.31 | 36.75 | 47.20 | 14.86 | 20.86 | 26.33 | 1.325 | 0.779 | 0.293 | 0.558 |
| 1.80 | 24.70 | 35.78 | 46.00 | 16.40 | 21.69 | 26.91 | 1.401 | 0.821 | 0.305 | 0.585 |
| 2.70 | 23.87 | 34.70 | 44.72 | 17.44 | 21.55 | 26.65 | 1.433 | 0.828 | 0.304 | 0.596 |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO D

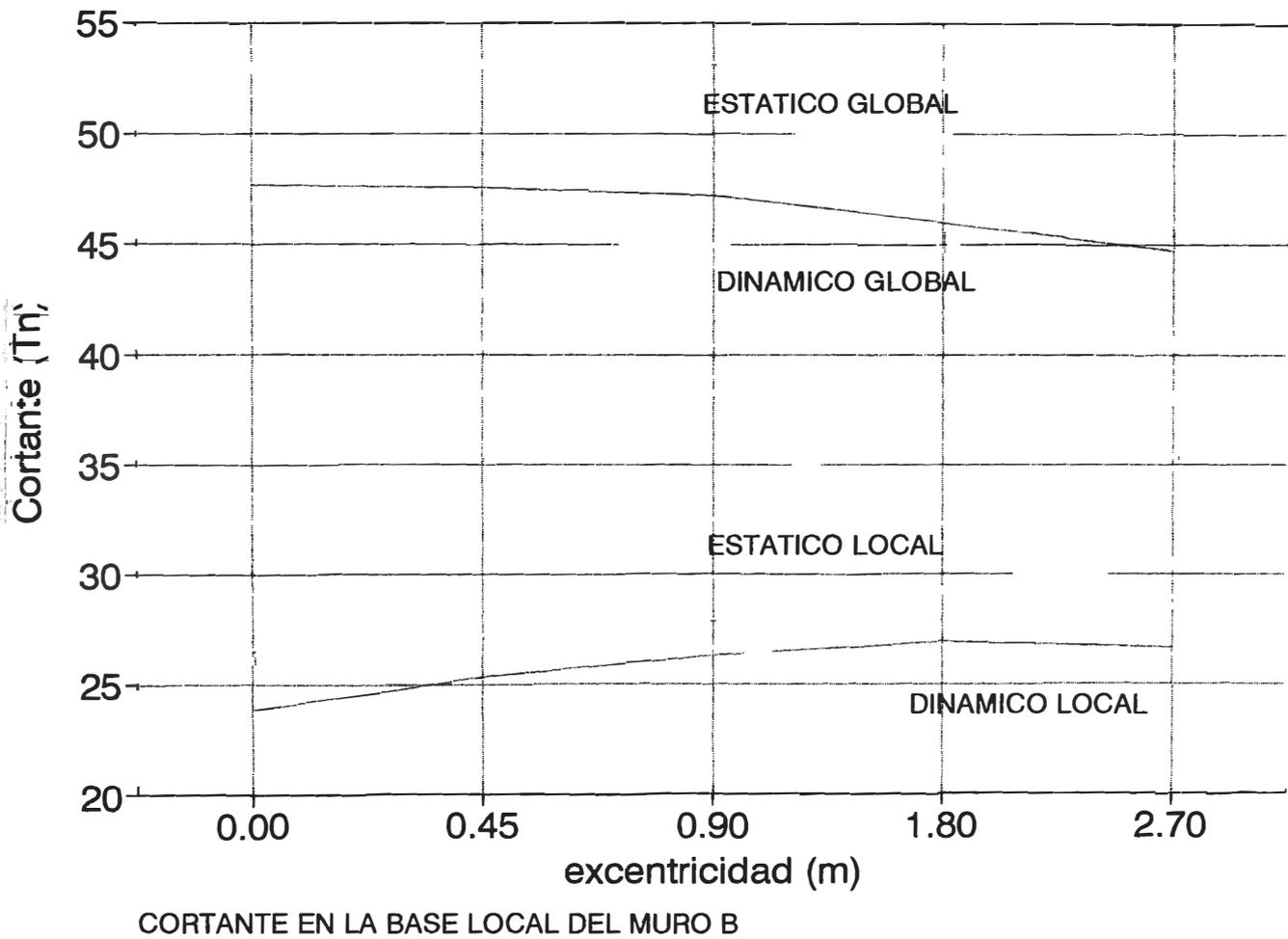


FIG. 3.16

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL MODELO D

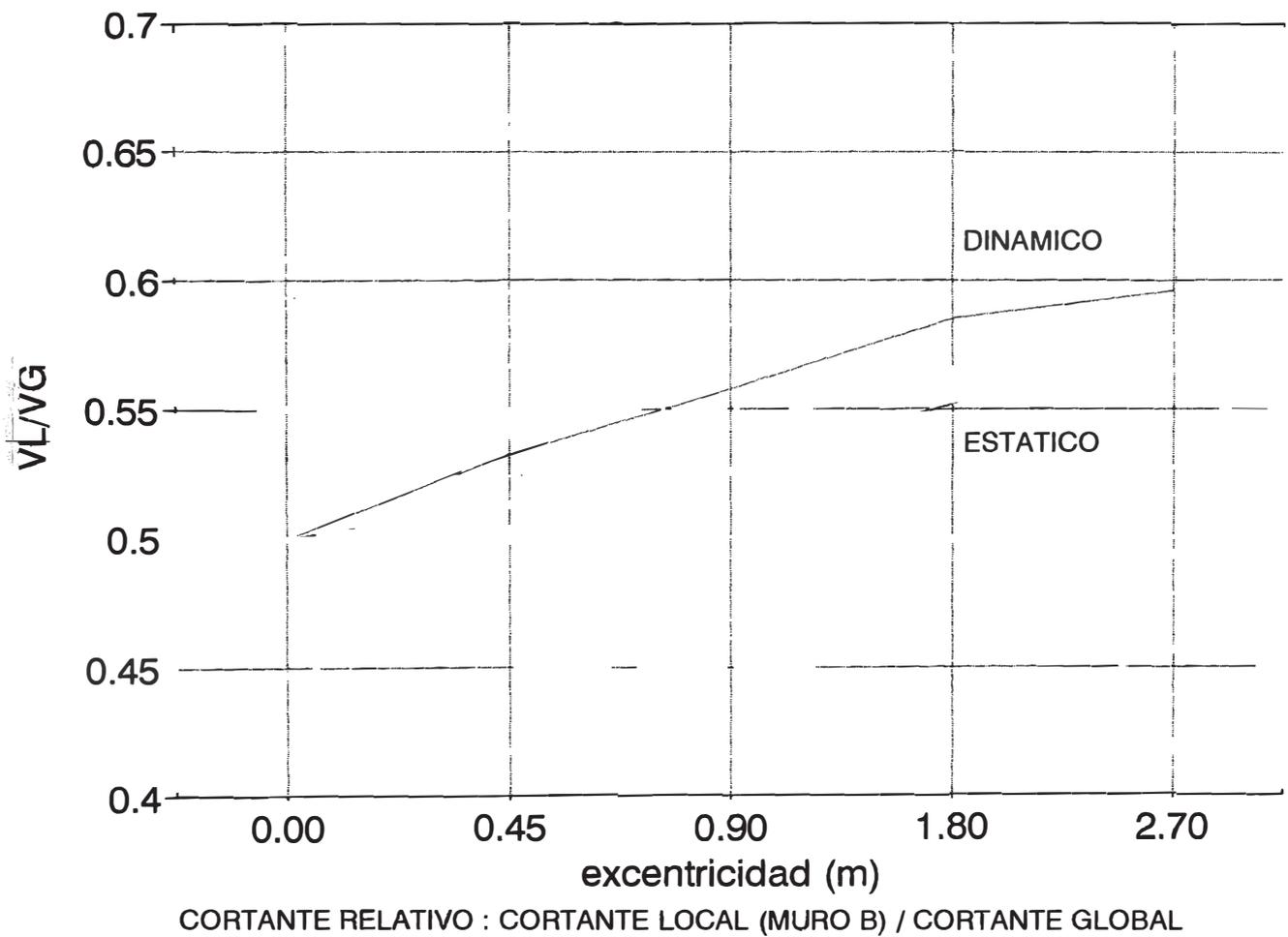


FIG. 3.17

DESPLAZAMIENTO LOCAL* MODELO D

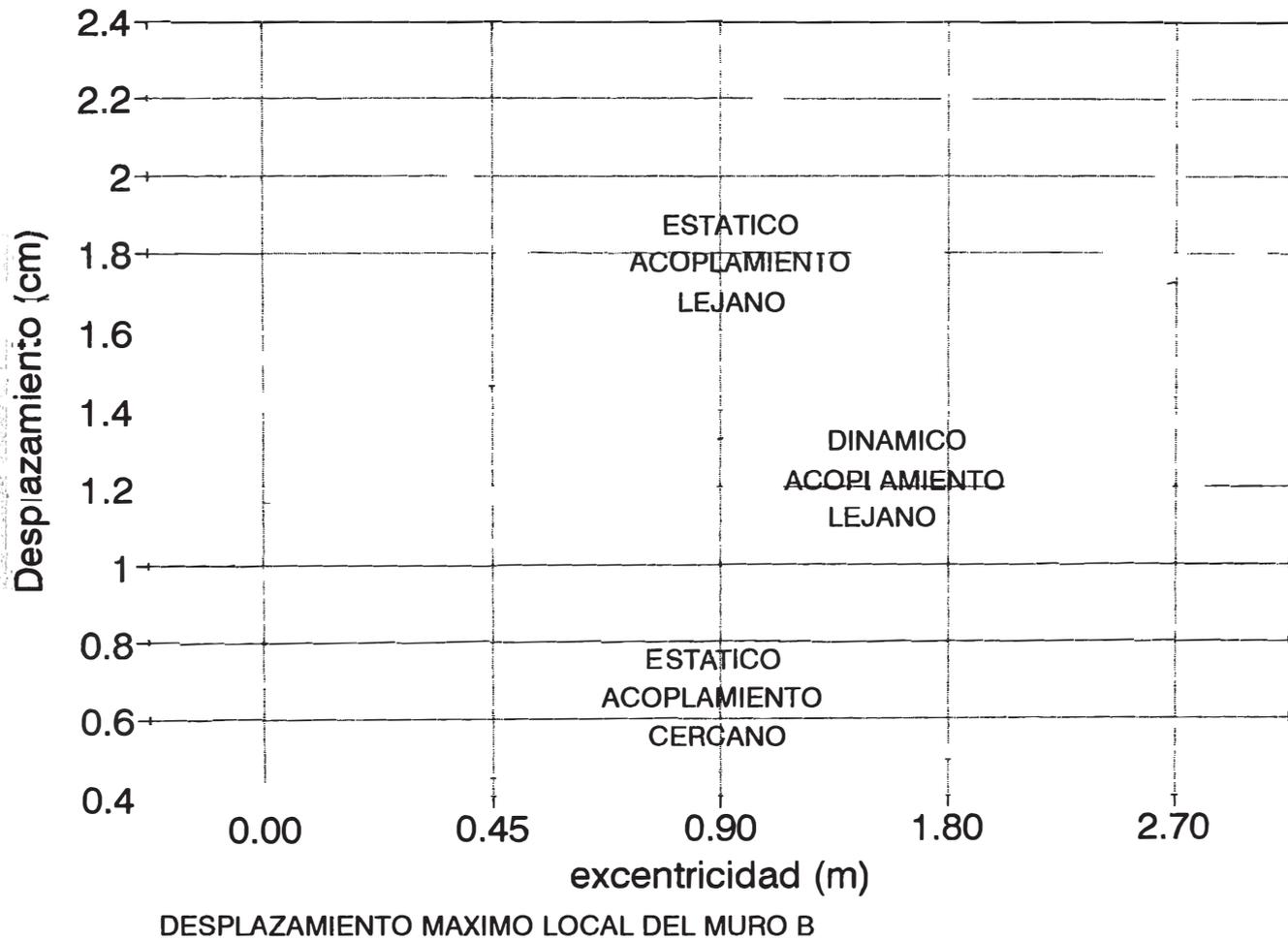


FIG. 3.18

Resultados y Comentarios : Modelo D

CORTANTES

- Se observa que los cortantes del modelo D tienen las mismas tendencias que los del modelo C pero en proporciones distintas. Esto se da porque las variaciones de la excentricidad son de la misma forma que el modelo C, solo que en este caso se hace variar la excentricidad solo en el último nivel.

| Modelo | Cortantes en la base (Tn) | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | | | D | | |
| Cortante en la base | e=0.0 | e=2.7 | Dif % | e=0.0 | e=2.7 | Dif % |
| Estático global | 53.11 | 53.11 | 0.0 | 53.11 | 53.11 | 0.0 |
| Dinámico global | 47.71 | 45.64 | -4.3 | 47.71 | 44.72 | -6.3 |
| Estático local muro B | 26.56 | 35.52 | 33.7 | 26.56 | 30.72 | 15.7 |
| Dinámico local muro B | 23.85 | 31.95 | 33.9 | 23.85 | 26.65 | 11.7 |

- Se observa que las fuerzas cortantes a nivel local del muro B aumentan cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez . En el modelo C este aumento es mayor (35%) que en el modelo D (15%), lógicamente porque en el modelo C había excentricidad en todos los niveles.
- Como se vio antes los cortantes a nivel global en los métodos estáticos no varían al aumentar la excentricidad, pero se observa que en el método dinámico los cortantes disminuyen, siendo en este caso mayor esta disminución en el modelo D.
- También en este caso los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) son mayores en el análisis dinámico que en el análisis estático (ver fig. 3.17)

DESPLAZAMIENTOS

- Se observa también que los desplazamientos del modelo D tienen las mismas tendencias que los del modelo C, pero en proporciones distintas. Esto se da, como en el caso de los cortantes, porque las variaciones de la excentricidad son de la misma forma que el modelo C, solo que en este caso se hace variar la excentricidad solo en el último nivel.

| Modelo | Desplazamientos máximos (cm) | | | | | |
|----------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | | | D | | |
| Desplazamiento máximo | e=0.0 | e=4.5 | Dif % | e=0.0 | e=4.5 | Dif % |
| ' Estático acoplam.cercano | 0.432 | 0.577 | 33.6 | 0.432 | 0.520 | 20.4 |
| Estático acoplam.lejano | 1.409 | 1.885 | 33.8 | 1.409 | 1.728 | 22.6 |
| Dinámico acoplam.lejano | 1.163 | 1.557 | 33.9 | 1.163 | 1.433 | 23.2 |

- Se observa que los desplazamientos en el último piso aumentan en un 33% en el modelo C, mientras que aumenta en un 22% en el modelo D.

3.5 EFECTOS DE LA EXCENTRICIDAD EN EDIFICIOS DE PLANTA NO SIMETRICA

MODELO E

Objetivo :

El objetivo en este caso es comparar los procedimientos de análisis para edificios de albañilería con planta no simétrica, con distintas excentricidades.

Para este modelo se presentan también las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro 1.

Descripción :

El modelo E es un edificio de albañilería de 3 pisos con planta no simétrica y 7 muros de albañilería (5 en la dirección X y 2 en la dirección Y) dispuestos como se ve en la figura 3.19.

MODELO E

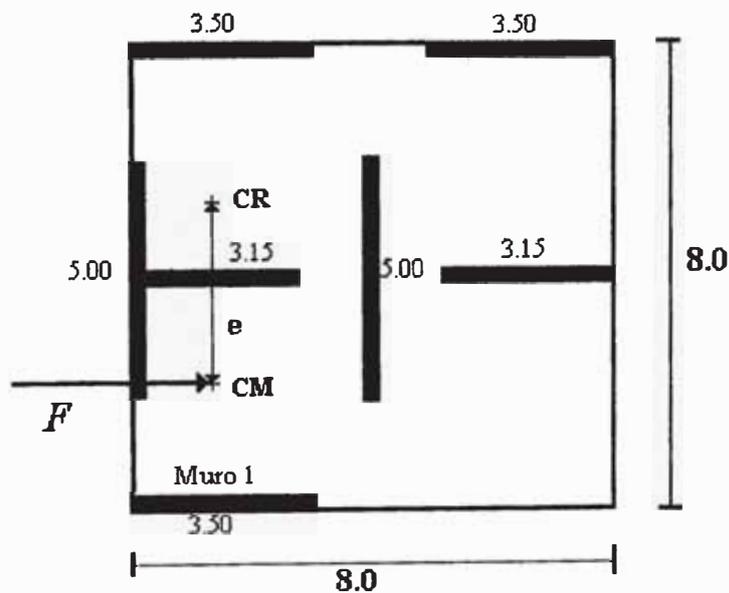


FIG. 3.19

En este modelo se hace variar la excentricidad (e) moviendo el centro de masas (CM) desde una posición coincidente con el centro de rigidez (CR) de los muros ($e=0.0$), hasta $e=4.50$ m del CR, en la dirección Y.

El centro de rigidez se ha definido en este caso sobre la base del modelo de acoplamiento cercano. Como en el caso anterior, al variar la posición del centro de masas, se considera que no varían las propiedades de inercia de estructura.

Características del Modelo E :

El modelo E estudiado corresponde a un edificio de albañilería con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

- Las longitudes de los muros son los que aparecen en la fig. 3.19 , (iguales en todos los pisos).
- Se hace variar la excentricidad en la dirección Y moviendo el centro de masas CM respecto al centro de rigidez CR en posiciones : $e = 0.00$ m , 0.45 m , 0.90 m , 1.80 m , 2.70 m y 4.50 m. estas excentricidades se consideran iguales en todos los niveles del edificio.
- Se ha supuesto que el centro de rigidez tiene coordenadas : $x=2.037$, $y=4.844$, siendo el origen (0,0) el extremo inferior izquierdo.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección X en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro 1 (Tabla 3.14).
- Se hacen gráficos de los cortantes en la base globales y locales del muro 1 respecto a la variación de la excentricidad (fig. 3.20) ; un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.21) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.22) .

TABLA 3.14
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO E

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 4.91 | 9.06 | 11.11 | 0.224 | 0.180 | 0.099 | 0.215 |
| 0.45 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 5.77 | 10.65 | 13.06 | 0.263 | 0.212 | 0.116 | 0.253 |
| 0.90 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 6.64 | 12.25 | 15.02 | 0.303 | 0.243 | 0.134 | 0.291 |
| 1.80 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 8.37 | 15.44 | 18.94 | 0.382 | 0.307 | 0.169 | 0.367 |
| 2.70 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 10.10 | 18.64 | 22.86 | 0.460 | 0.370 | 0.204 | 0.442 |
| 4.50 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 13.56 | 25.02 | 30.69 | 0.618 | 0.497 | 0.274 | 0.594 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 5.29 | 9.42 | 11.13 | 0.855 | 0.496 | 0.175 | 0.215 |
| 0.45 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 6.02 | 10.90 | 13.07 | 0.988 | 0.574 | 0.204 | 0.253 |
| 0.90 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 6.74 | 12.38 | 15.00 | 1.121 | 0.652 | 0.233 | 0.290 |
| 1.80 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 8.20 | 15.34 | 18.88 | 1.386 | 0.809 | 0.290 | 0.365 |
| 2.70 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 9.65 | 18.29 | 22.75 | 1.652 | 0.966 | 0.347 | 0.440 |
| 4.50 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 12.56 | 24.21 | 30.50 | 2.183 | 1.279 | 0.462 | 0.590 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 23.92 | 35.70 | 46.08 | 5.65 | 8.32 | 10.34 | 0.731 | 0.423 | 0.153 | 0.224 |
| 0.45 | 22.54 | 33.54 | 43.40 | 8.01 | 12.12 | 15.99 | 1.056 | 0.616 | 0.228 | 0.368 |
| 0.90 | 21.85 | 32.39 | 42.05 | 8.21 | 12.65 | 16.77 | 1.102 | 0.644 | 0.239 | 0.399 |
| 1.80 | 21.67 | 32.15 | 41.64 | 8.94 | 13.98 | 18.55 | 1.207 | 0.706 | 0.263 | 0.445 |
| 2.70 | 21.73 | 32.08 | 41.91 | 10.21 | 15.66 | 20.95 | 1.363 | 0.798 | 0.297 | 0.500 |
| 4.50 | 22.16 | 32.81 | 42.81 | 13.43 | 20.42 | 27.44 | 1.777 | 1.040 | 0.387 | 0.641 |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO E

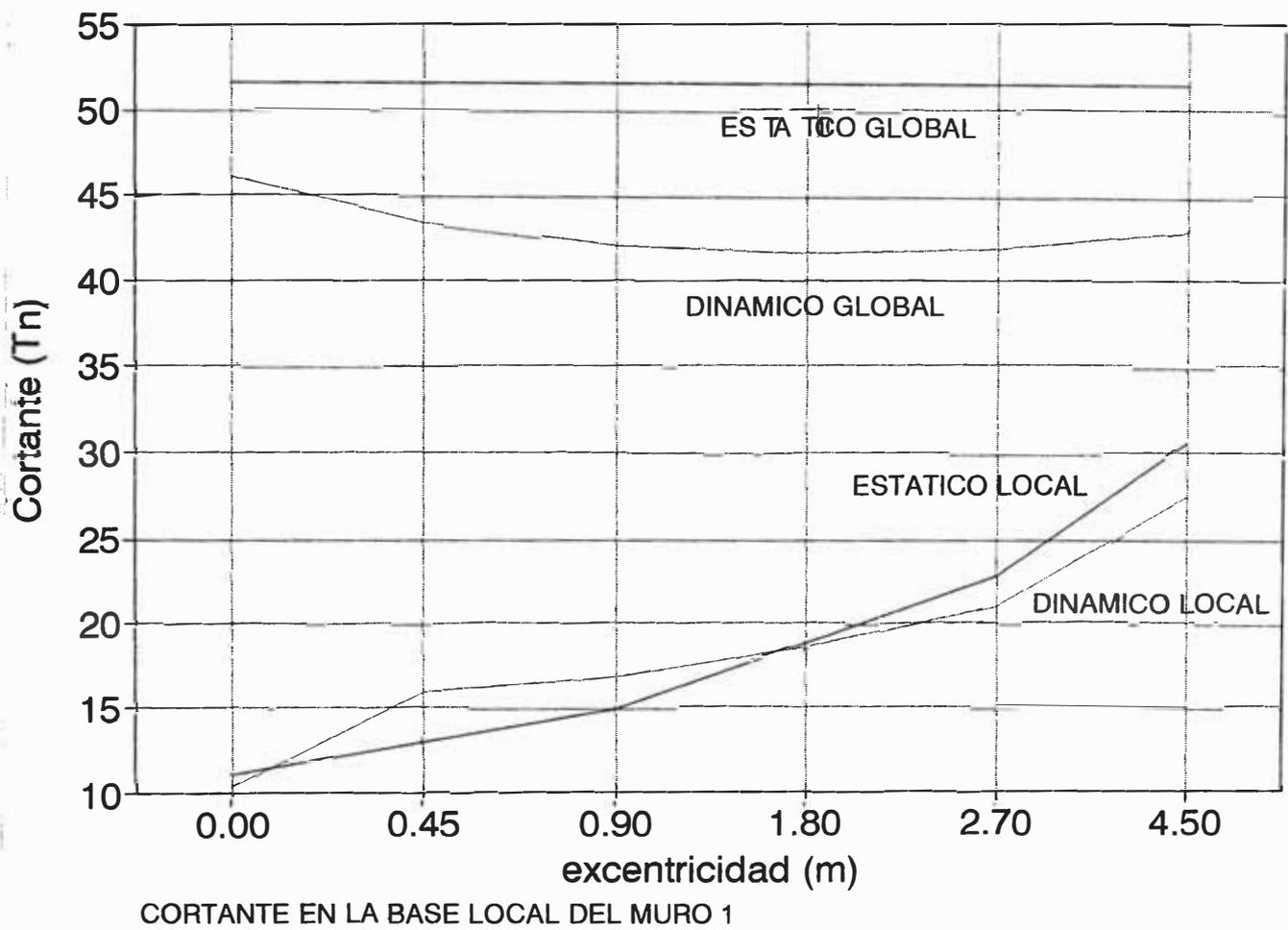


FIG. 3.20

CORTANTE LOCAL MURO 1 / CORTANTE GLOBAL
MODELO E

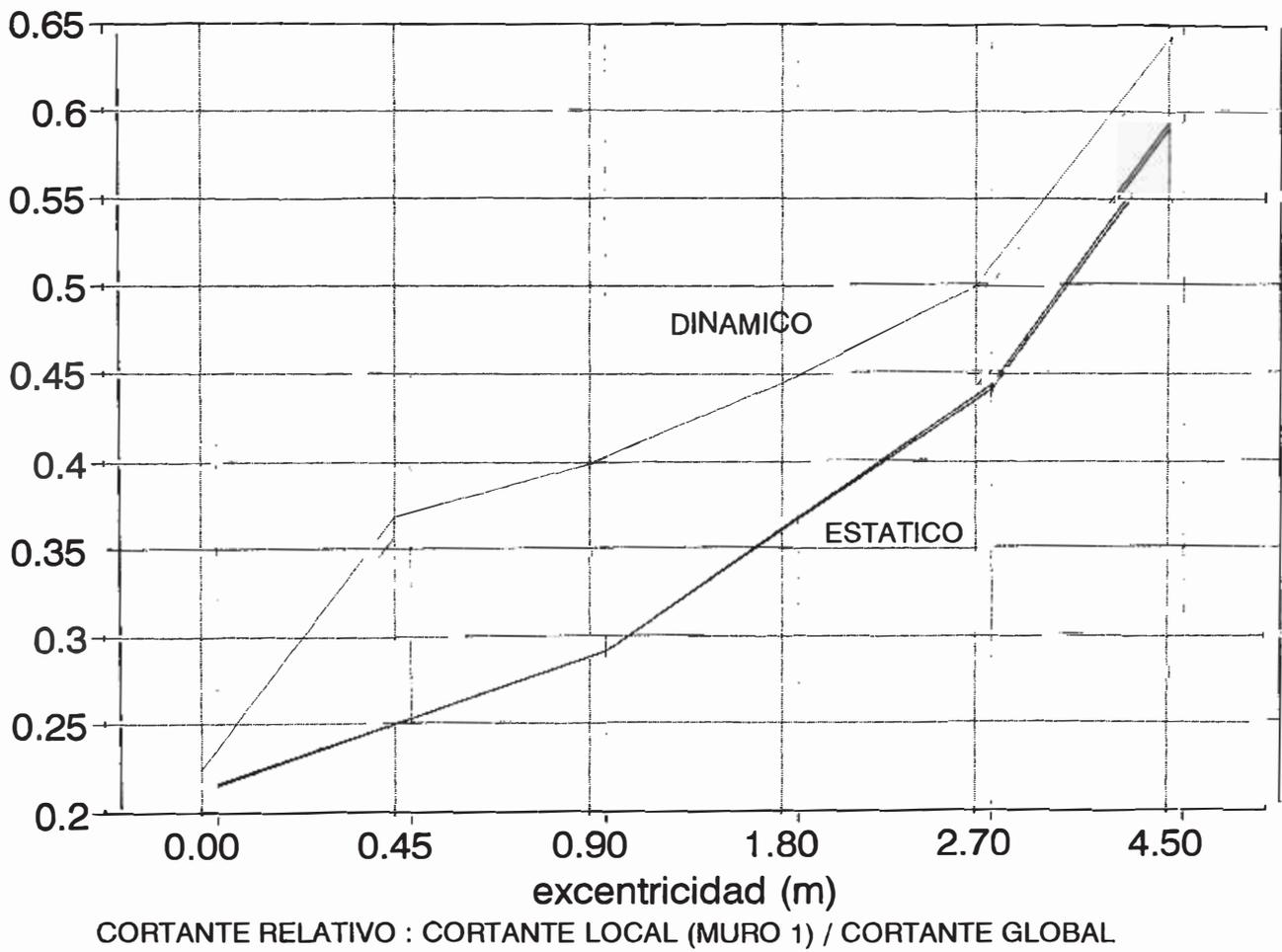


FIG. 3.21

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO E

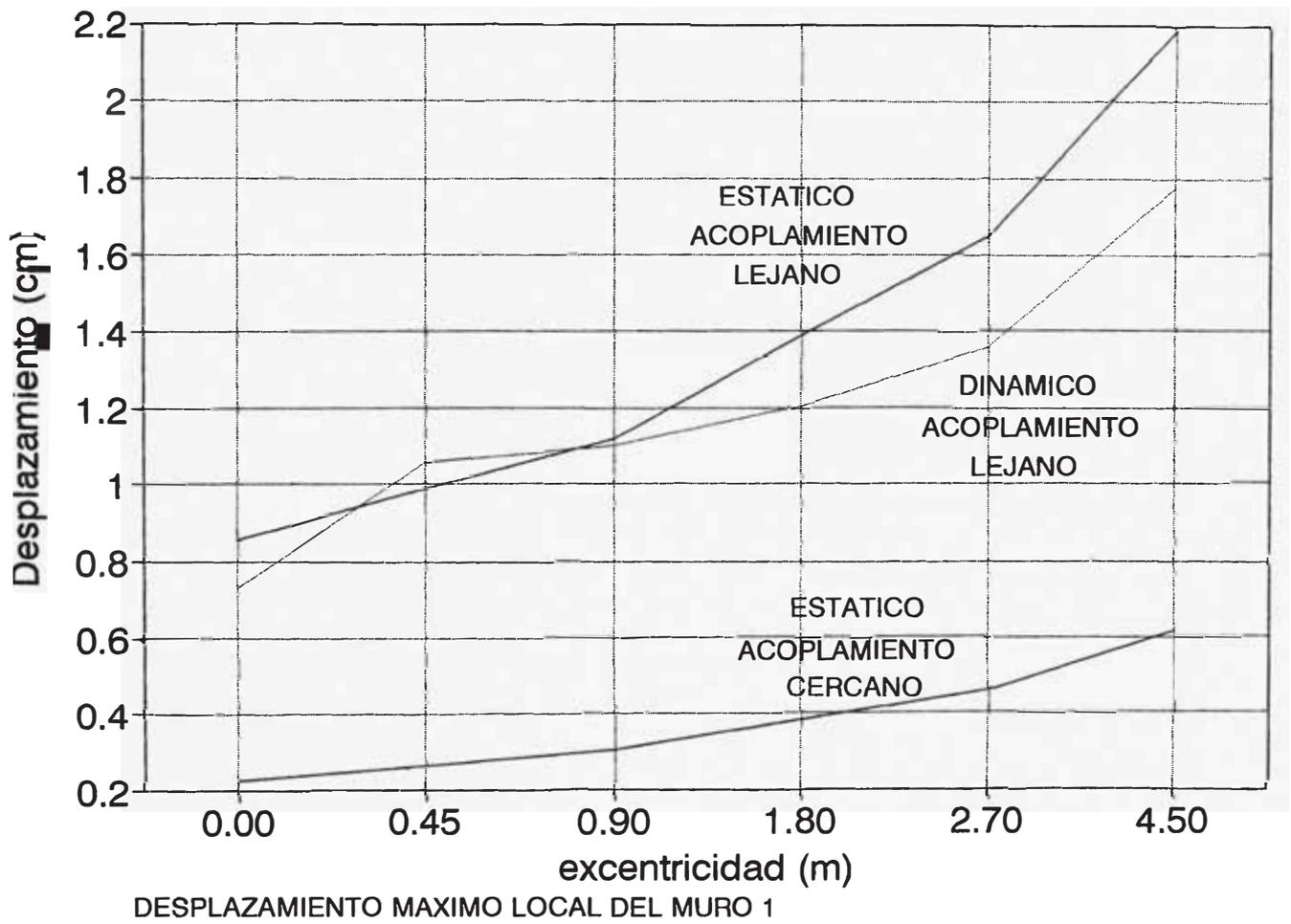


FIG. 3.22

Resultados y Comentarios : Modelo E

CORTANTES

- Se observa que siempre las fuerzas cortantes a nivel global son mayores en los métodos estáticos que en los métodos dinámicos..
- A diferencia de lo observado en casos anteriores, las fuerzas cortantes locales obtenidas del análisis estático con un modelo de acoplamiento lejano no coinciden con los correspondientes resultados del análisis con un modelo de acoplamiento cercano. Esto es debido a la combinación de muros con distinta rigidez (distinta longitud en planta) más que a la excentricidad, puesto que se observa incluso para el caso $e=0.0$.
- Se observa que las fuerzas cortantes a nivel local del muro 1 aumentan en los resultados obtenidos en todos los métodos comparados cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez (en este caso en la dirección Y). Sin embargo, los efectos de torsión obtenidos del análisis dinámico son, en términos relativos a las componentes traslacionales, mayores.
- Los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) siempre son mayores en el análisis dinámico que en el análisis estático.
- Para las fuerzas cortantes a nivel global en el análisis dinámico, se observa que cuando hay mas excentricidad estas fuerzas disminuyen pero luego aumentan. Esto se da como se explicó en los casos anteriores porque cuando varía la excentricidad de esta manera, la estructura sufre cambios en su comportamiento sísmico, es decir los modos de vibración van cambiando, de esta manera, al aumentar la excentricidad, el modo correspondiente a la torsión se va haciendo más predominante.

DESPLAZAMIENTOS

- Se confirma como en los casos anteriores que los desplazamientos , en este caso locales del muro 1, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) que en el análisis con acoplamiento cercano porque además del desplazamiento por traslación se considera el desplazamiento por efecto de giro de los muros.
- Los desplazamientos a nivel local del muro 1 aumentan en todos los métodos (como en el caso de las fuerzas cortantes locales) cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez.

MODELO F

Objetivo :

Al igual que en el modelo E, el objetivo también es comparar los procedimientos de análisis para edificios de albañilería considerando acciones excéntricas, pero en este caso con una planta distinta.

Para este modelo se presentan también las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro 1.

Descripción :

El modelo E es un edificio de albañilería de 3 pisos con planta no simétrica y 5 muros de albañilería (3 en la dirección X y 2 en la dirección Y) dispuestos como se ve en la figura 3.23.

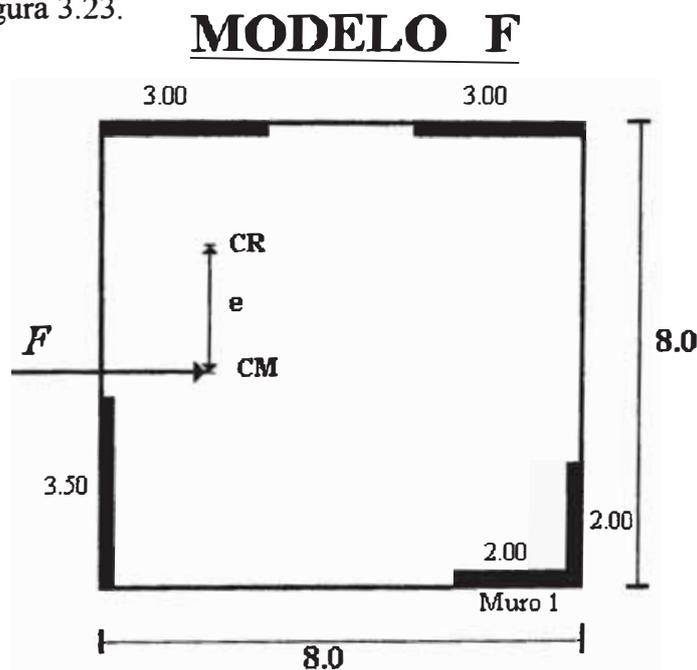


FIG. 3.23

En este modelo se hace variar la excentricidad (e) moviendo el centro de masas (CM) desde una posición coincidente con el centro de rigidez (CR) de los muros ($e=0.0$) hasta $e=4.50$ m en la dirección Y

Como en el caso anterior, al variar la posición del centro de masas no varían las masas de la estructura.

Características del Modelo F :

El modelo F estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

- Las longitudes de los muros son en todos los pisos las que aparecen en la fig. 3.23.
- Se hace variar la posición de los excentricidad en la dirección Y moviendo el centro de masas respecto al centro de rigidez en posiciones : $e = 0.00$ m , 0.45 m , 0.90 m. 1.80 m , 2.70 m y 4.50 m. Por la disposición de los muros en planta , el centro de rigidez está en : $x=1.971$, $y=6.554$, siendo el origen $(0,0)$ el extremo inferior izquierdo. Se debe mencionar que para este modelo la variación de las excentricidades se realiza simultáneamente en todos los niveles del edificio.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección X en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro 1 (Tabla 3.15).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro 1 en la base respecto a la variación de la excentricidad (fig. 3.24) ; un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.25) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.26) .

TABLA 3.15
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO F

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 3.44 | 6.11 | 7.43 | 0.476 | 0.380 | 0.208 | 0.175 |
| 0.45 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 4.03 | 7.16 | 8.70 | 0.557 | 0.445 | 0.244 | 0.205 |
| 0.90 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 4.62 | 8.20 | 9.97 | 0.639 | 0.509 | 0.280 | 0.234 |
| 1.80 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 5.79 | 10.29 | 12.52 | 0.802 | 0.639 | 0.351 | 0.294 |
| 2.70 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 6.97 | 12.38 | 15.06 | 0.965 | 0.769 | 0.422 | 0.354 |
| 4.50 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 9.32 | 16.57 | 20.14 | 1.290 | 1.029 | 0.565 | 0.473 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 2.82 | 5.45 | 7.48 | 2.384 | 1.333 | 0.438 | 0.176 |
| 0.45 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 3.39 | 6.47 | 8.75 | 2.830 | 1.581 | 0.518 | 0.206 |
| 0.90 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 3.96 | 7.50 | 10.02 | 3.276 | 1.828 | 0.598 | 0.236 |
| 1.80 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 5.10 | 9.55 | 12.57 | 4.168 | 2.323 | 0.757 | 0.295 |
| 2.70 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 6.23 | 11.59 | 15.11 | 5.060 | 2.817 | 0.916 | 0.355 |
| 4.50 | 19.69 | 34.99 | 42.55 | 8.51 | 15.69 | 20.20 | 6.845 | 3.806 | 1.235 | 0.475 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro 1 | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Excent | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 0.00 | 20.23 | 29.43 | 37.57 | 3.84 | 6.06 | 8.35 | 2.537 | 1.413 | 0.469 | 0.222 |
| 0.45 | 19.06 | 27.42 | 35.34 | 4.81 | 7.26 | 10.15 | 3.000 | 1.680 | 0.559 | 0.287 |
| 0.90 | 17.62 | 24.95 | 32.62 | 5.05 | 7.35 | 10.33 | 2.990 | 1.669 | 0.558 | 0.317 |
| 1.80 | 17.99 | 25.67 | 33.32 | 6.19 | 9.02 | 12.06 | 3.683 | 1.382 | 0.676 | 0.362 |
| 2.70 | 18.36 | 27.00 | 34.37 | 7.19 | 10.65 | 14.01 | 4.318 | 2.396 | 0.791 | 0.408 |
| 4.50 | 19.11 | 27.76 | 35.31 | 9.19 | 13.61 | 18.04 | 5.590 | 3.101 | 1.022 | 0.511 |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO F

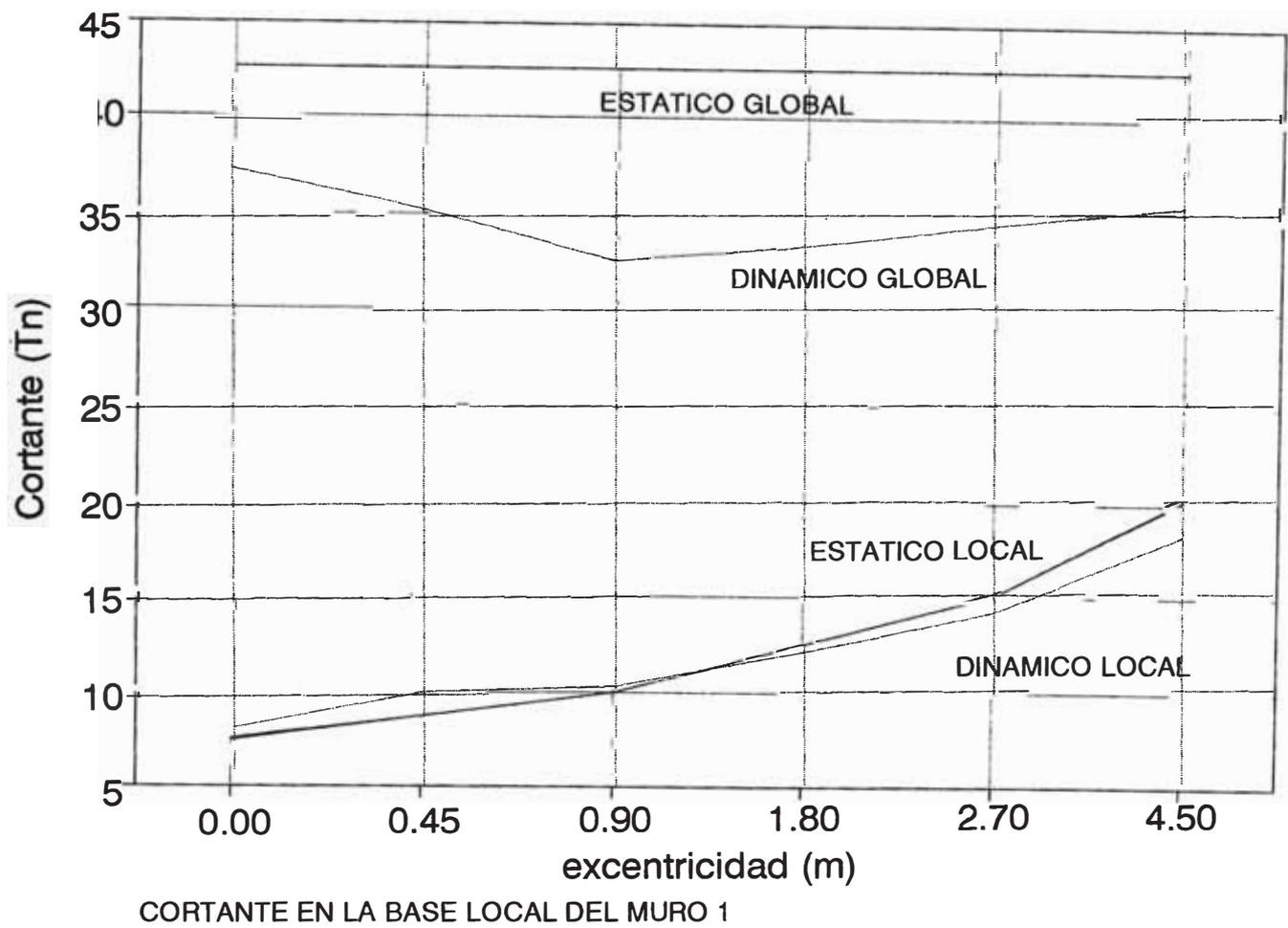


FIG. 3.24

CORTANTE LOCAL MURO 1 / CORTANTE GLOBAL MODELO F

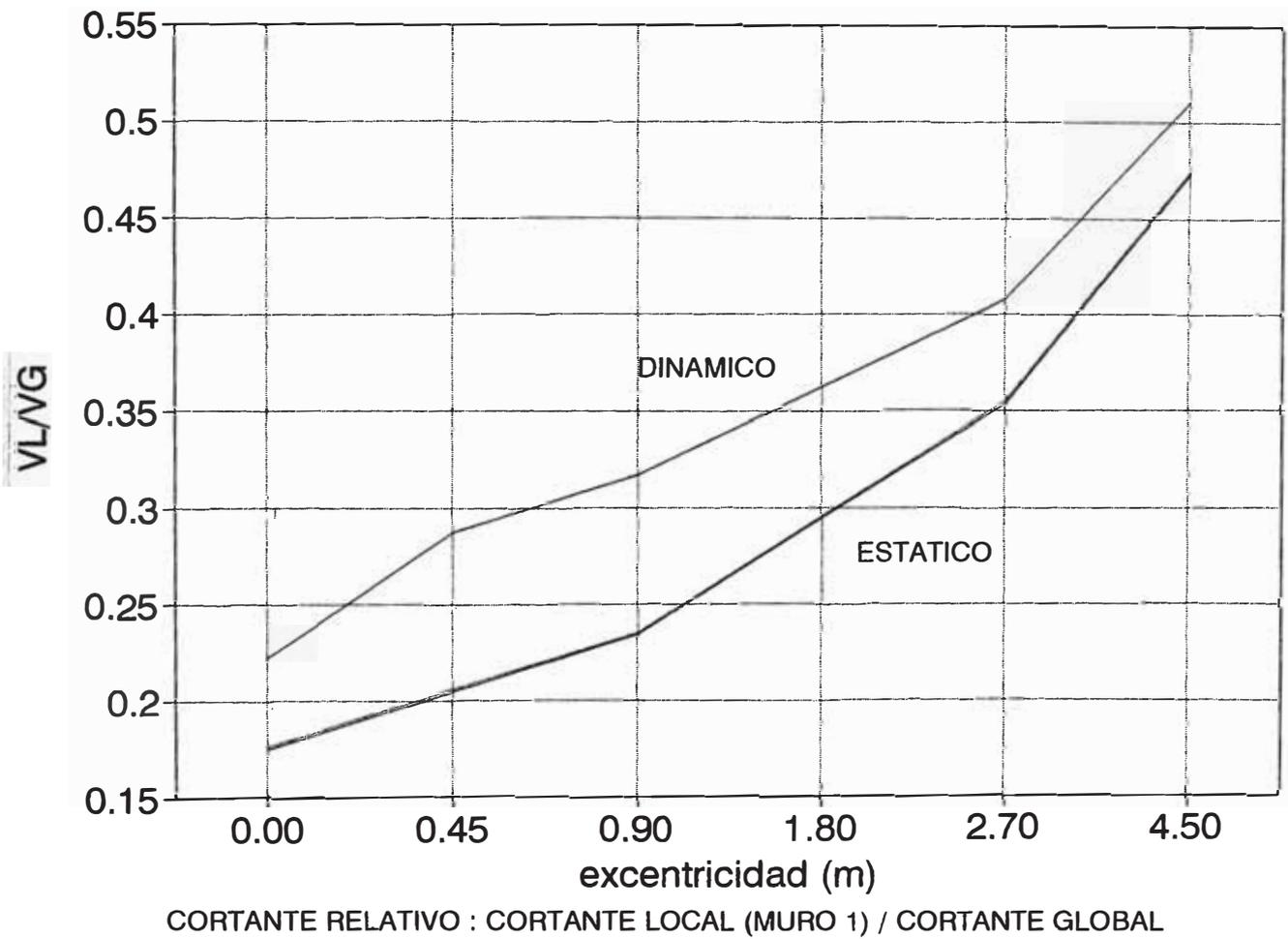


FIG. 3.25

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO F

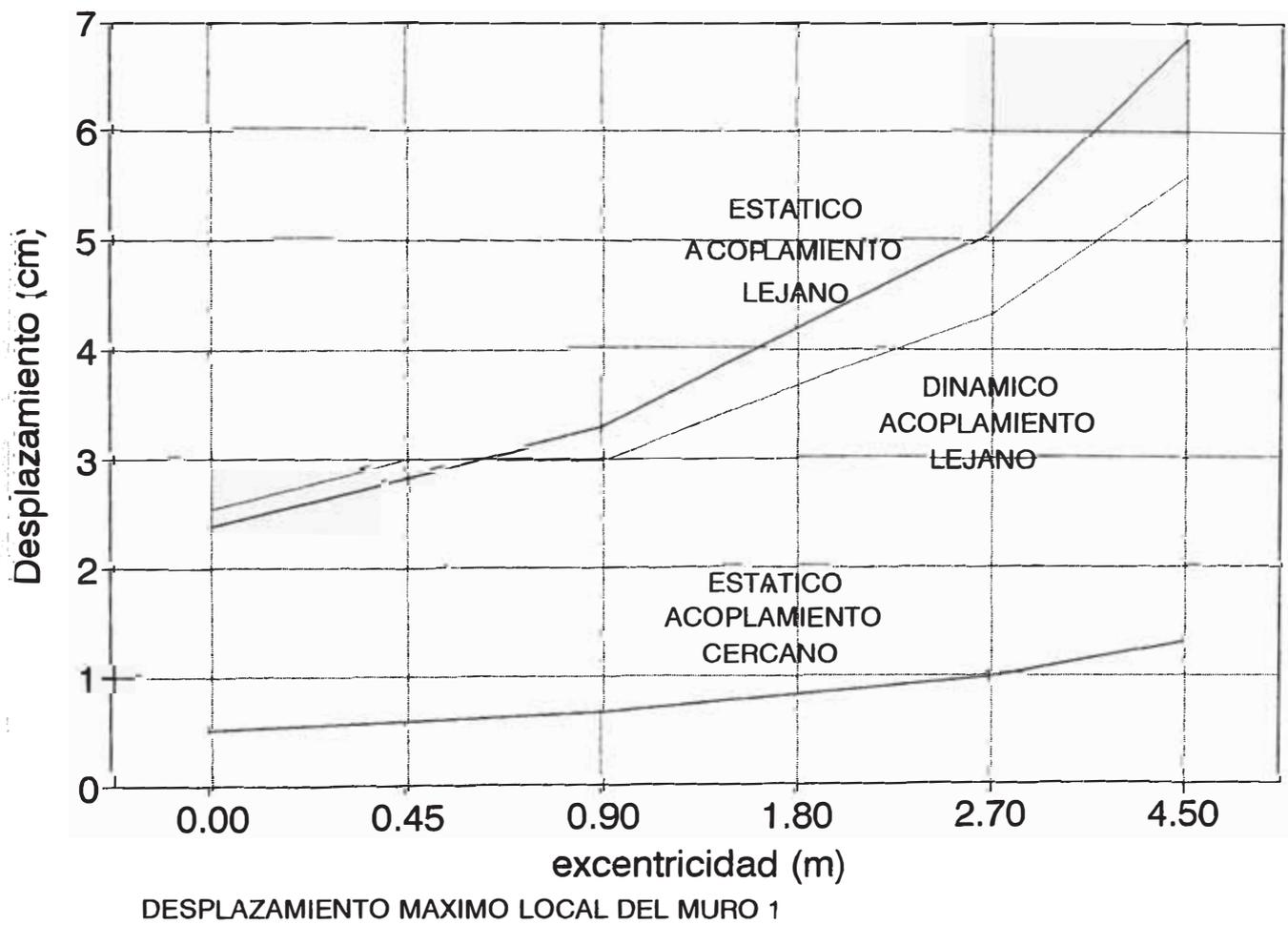


FIG. 3.26

Resultados y Comentarios : Modelo F

CORTANTES

- Se observa que las fuerzas cortantes del modelo F tienen las mismas tendencias que los del modelo E, ya que se trata también de una planta no simétrica.
- Se confirma que en el modelo F, al una combinación de muros con distinta rigidez, las fuerzas cortantes a nivel local ya no son iguales cuando se hace un análisis estático con acoplamiento cercano y un análisis estático con acoplamiento lejano.
- Las fuerzas cortantes a nivel local del muro 1, al igual que en el modelo E, aumentan en todos los métodos cuando el centro de masa se aleja del centro de rigidez y se acerca al muro 1.

Cortantes en la base (Tn)

| Modelo | E | | | F | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | e=0.0 | e=4.5 | Dif % | e=0.0 | e=4.5 | Dif % |
| Cortante en la base | | | | | | |
| Estático local muro 1 | 11.11 | 30.69 | 176.2 | 7.43 | 20.20 | 171.9 |
| Dinámico local muro 1 | 10.34 | 27.44 | 165.4 | 8.35 | 18.04 | 116.0 |

- En el análisis dinámico, las fuerzas cortantes a nivel global disminuyen y luego aumentan cuando aumenta la excentricidad como sucedía en el caso del modelo E anterior con planta no simétrica también. Esto se da, como se mencionó antes, porque la estructura presenta un cambio en su comportamiento sísmico: A medida que aumenta la excentricidad los modos torsionales se vuelven mas importantes.

DESPLAZAMIENTOS

- Se observa también que los desplazamientos máximos a nivel local del muro 1 del modelo F tienen las mismas tendencias que los del modelo E .

| Modelo | Desplazamientos máximos (cm) | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | E | | | F | | |
| Desplazamiento máximo | e=0.0 | e=4.5 | Dif % | e=0.0 | e=4.5 | Dif % |
| Estático acoplam.cercano | 0.224 | 0.618 | 175.9 | 0.476 | 1.290 | 171.0 |
| Estático acoplam.lejano | 0.855 | 2.183 | 155.3 | 2.384 | 6.845 | 187.1 |
| Dinámico acoplam.lejano | 0.731 | 1.777 | 143.1 | 2.537 | 5.590 | 120.3 |

3.6 EFECTOS DE LA IRREGULARIDAD DE LA RIGIDEZ EN DIRECCION VERTICAL

MODELO G

Objetivo :

El objetivo en este modelo es también comparar los procedimientos de análisis sísmico en edificios de albañilería con excentricidad en las rigideces. En este modelo no se hace variar la excentricidad (e) moviendo el centro de masas CM, sino que ahora se hace variar la excentricidad aumentando la longitud de uno de los muros (Muro B) desde una longitud inicial de 4.0 m hasta una longitud final de 8.0 m, pero solo en el último nivel. Al hacer esto, el centro de masas CM queda en su posición normal (centro de la planta) y la excentricidad e aumenta porque ahora el centro de rigidez CR varía de posición

Descripción :

El modelo G es igual que el modelo C, con planta simétrica y 4 muros de albañilería dispuestos como se ve en la figura 3.27.

Se debe mencionar que al variar la longitud del muro B, también varían las masas de la estructura.

Características del Modelo G :

El modelo G estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

MODELO G

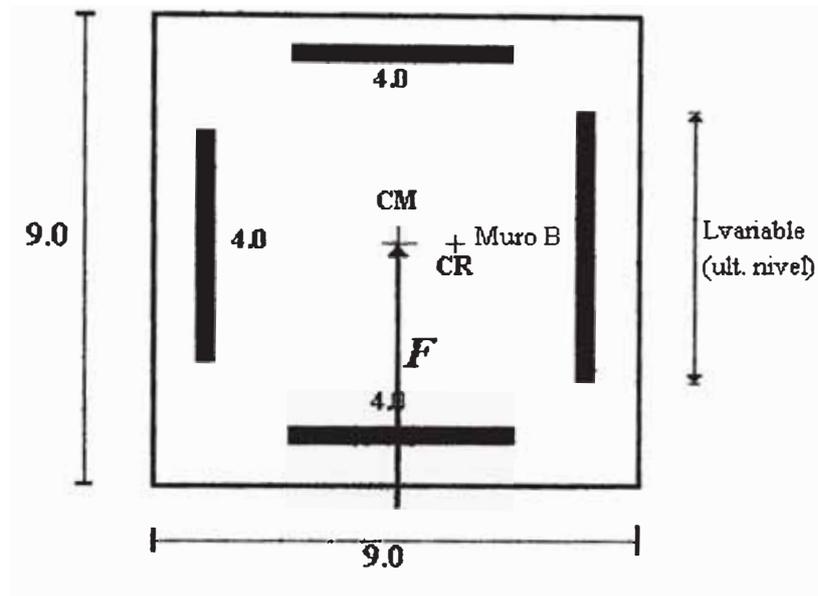


FIG. 3.27

- Las longitudes de los muros son todas de 4.0 m en todos los pisos, excepto el muro B que varía de longitud en el último nivel.
- Se hace variar el muro B en el último nivel, considerando longitudes de 4.0 , 5.0 , 6.0 y 8.0 m.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección Y en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro B (Tabla 3.16).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la longitud del muro B (fig. 3.28); un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.29) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.30) .

TABLA 3.16
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO G

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 0.432 | 0.344 | 0.189 | 0.500 |
| 5.00 | 24.85 | 43.86 | 53.25 | 13.31 | 21.93 | 26.62 | 0.418 | 0.345 | 0.189 | 0.500 |
| 6.00 | 25.02 | 44.01 | 53.39 | 13.81 | 22.00 | 26.69 | 0.409 | 0.346 | 0.190 | 0.500 |
| 8.00 | 25.37 | 44.31 | 53.66 | 14.26 | 22.15 | 26.83 | 0.397 | 0.348 | 0.191 | 0.500 |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 1.409 | 0.833 | 0.307 | 0.500 |
| 5.00 | 24.85 | 43.86 | 53.25 | 12.94 | 21.57 | 26.55 | 1.395 | 0.836 | 0.308 | 0.499 |
| 6.00 | 25.02 | 44.01 | 53.39 | 13.33 | 21.43 | 26.58 | 1.389 | 0.839 | 0.309 | 0.498 |
| 8.00 | 25.37 | 44.31 | 53.66 | 13.85 | 21.33 | 26.66 | 1.388 | 0.846 | 0.311 | 0.497 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 4.00 | 25.54 | 37.16 | 47.71 | 12.77 | 18.58 | 23.85 | 1.163 | 0.686 | 0.261 | 0.500 |
| 5.00 | 25.61 | 37.17 | 47.91 | 13.36 | 18.31 | 23.88 | 1.145 | 0.685 | 0.260 | 0.498 |
| 6.00 | 25.70 | 37.23 | 48.08 | 13.71 | 18.16 | 23.92 | 1.140 | 0.688 | 0.261 | 0.498 |
| 8.00 | 25.92 | 37.41 | 48.37 | 14.16 | 18.04 | 24.00 | 1.139 | 0.693 | 0.263 | 0.496 |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO G

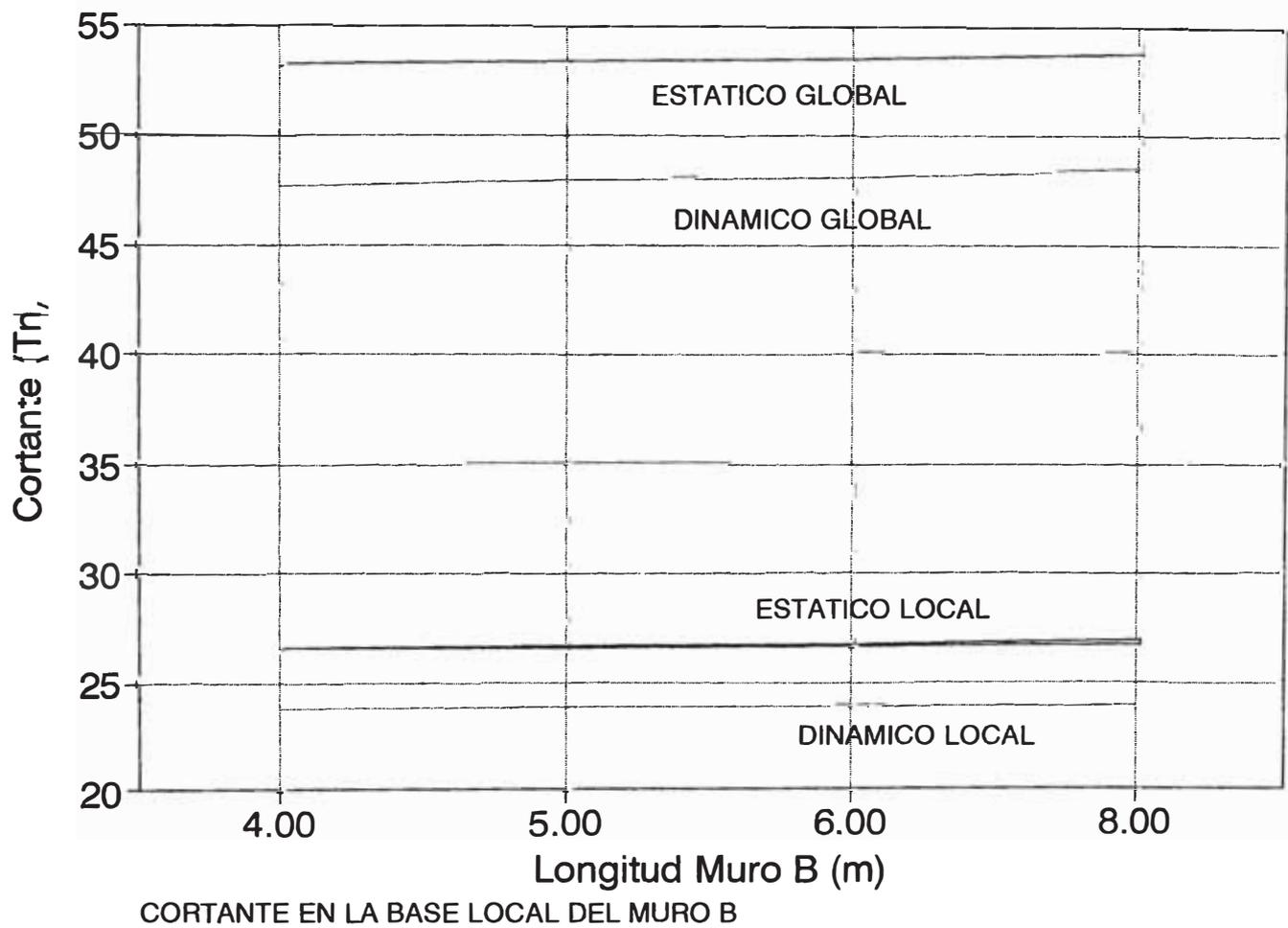


FIG. 3.28

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL MODELO G

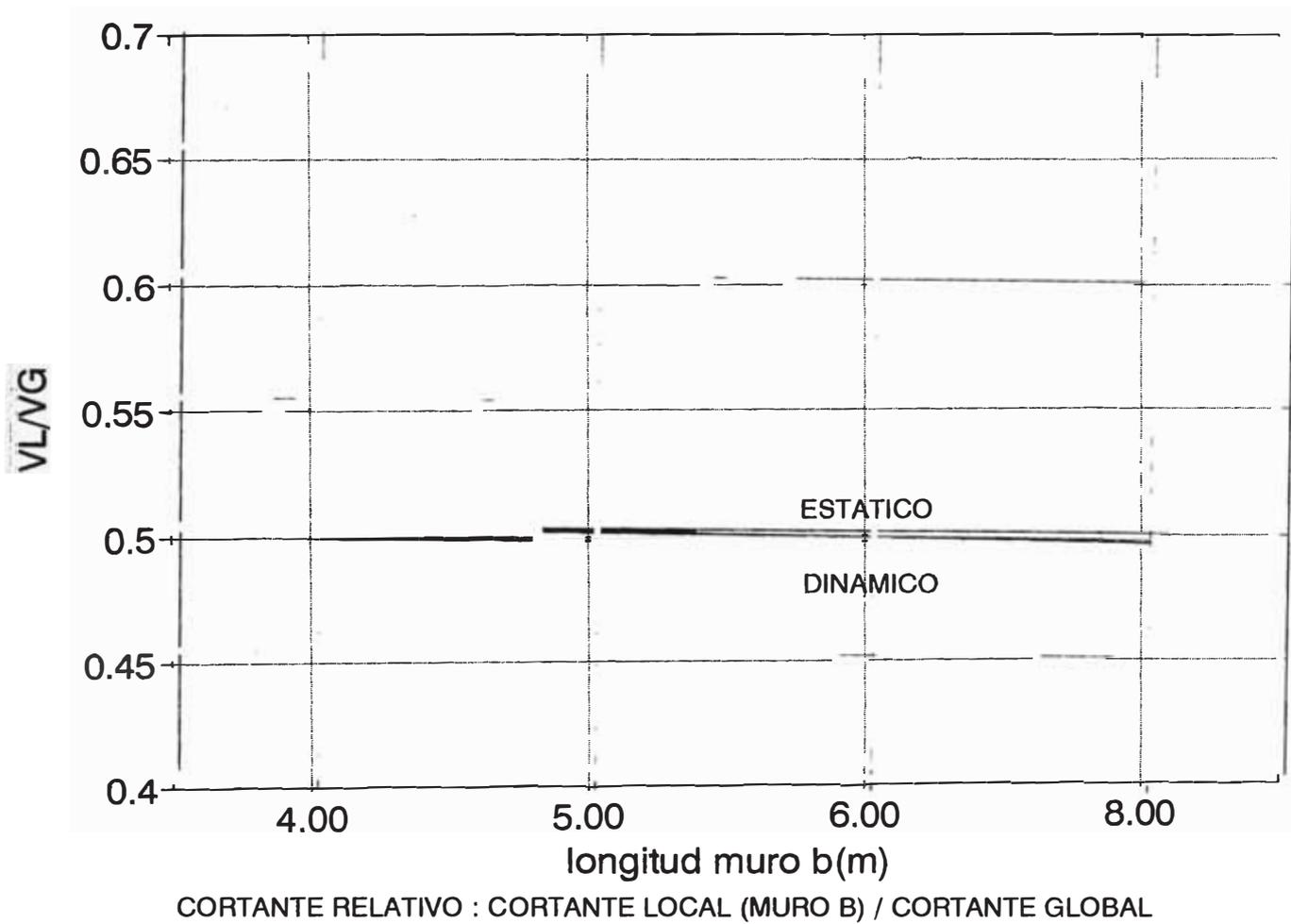


FIG. 3.29

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO G

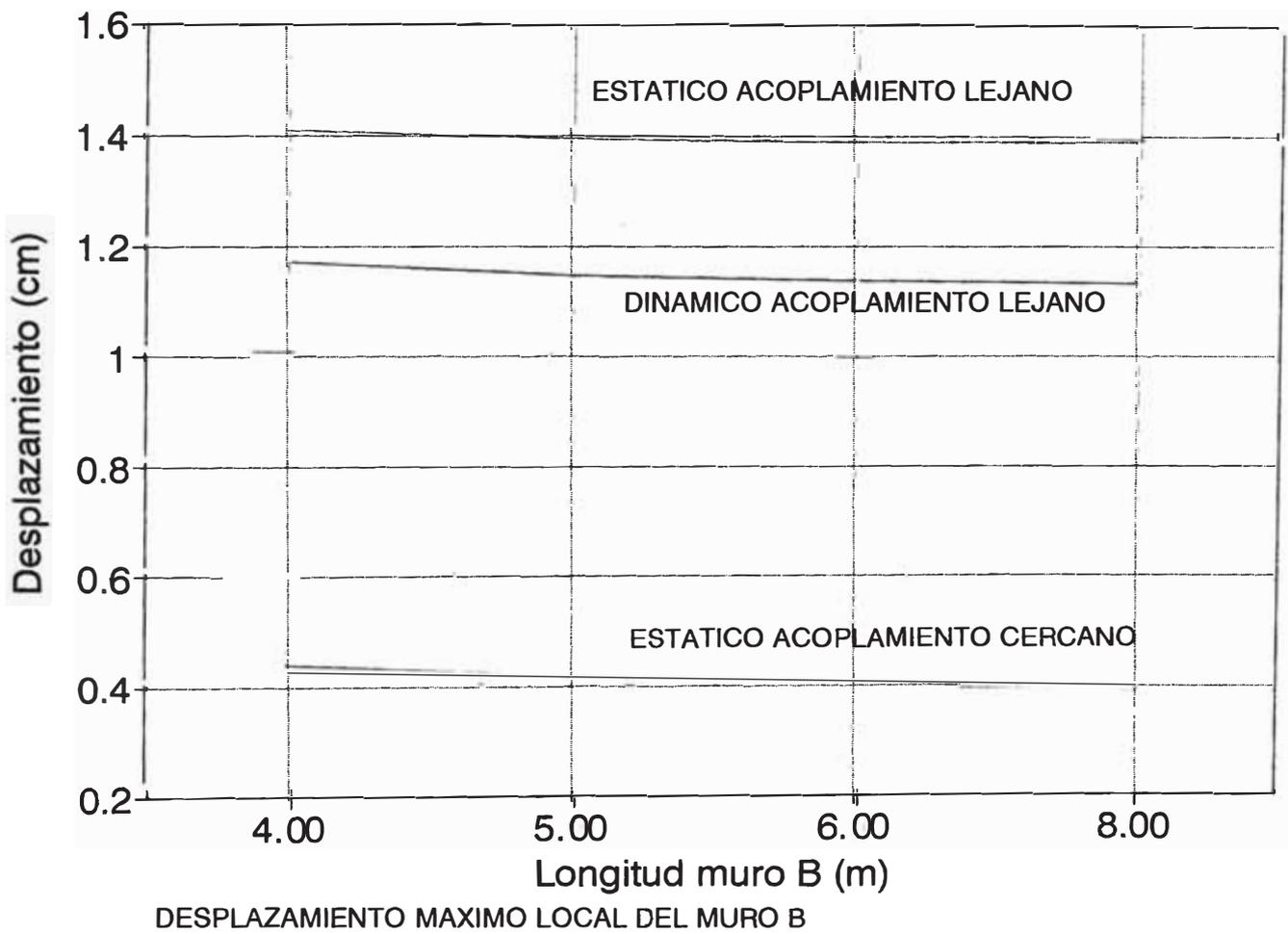


FIG. 3.30

Resultados y Comentarios : Modelo G

CORTANTES

- Se puede notar que los aumentos de las fuerzas cortantes son muy pequeños (del orden del 1 %).
- El aspecto más saltante en los resultados obtenidos es la poca influencia que los cambios de rigidez en el último nivel tienen sobre el cortante en la base a nivel local; pero los cambios si tienen un efecto visible en el cortante en el último nivel. Esto puede entenderse como una manifestación de que el acoplamiento entre niveles alejados no es muy significativo.
- La pequeña variación de las fuerzas cortantes a nivel global se debe sobretodo a que varían las masas de la estructura.
- También se observa al variar la longitud del muro B (en el último nivel), que las fuerzas cortantes a nivel local son distintas en un análisis estático con modelos de acoplamiento cercano que en un análisis estático con modelos de acoplamiento lejano. Esto se explica porque la rigidez de un eje resistente (muro B) no es exactamente proporcional a la total.
- Los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) son iguales en el análisis dinámico que en el análisis estático a 0.50

DESPLAZAMIENTOS

- Se confirma como en los casos anteriores que los desplazamientos , en este caso locales del muro B, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) que en el análisis con acoplamiento cercano.
- Los desplazamientos a nivel local del muro B en todos los métodos de análisis disminuyen al aumentar la longitud del muro B porque aumenta la rigidez

MODELO H

Objetivo :

El modelo H es muy similar al modelo G, y el objetivo es el mismo, es decir, comparar los procedimientos de análisis sísmicos para edificios de albañilería, en donde varía la rigidez en forma excéntrica.

Para este modelo, se presentan las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro B.

Descripción :

El modelo H tiene también planta simétrica y 4 muros de albañilería dispuestos como se ve en la figura 3.31.

En este modelo se hace variar la excentricidad aumentando la longitud de uno de los muros (Muro B) desde una longitud inicial de 4.0 m hasta una longitud final de 8.0 m. pero solo en el primer nivel. Al hacer esto, el centro de masas CM queda en su posición normal (centro de la planta) y la excentricidad e aumenta porque ahora el centro de rigidez CR varía de posición.

Se debe mencionar que al variar la longitud del muro B, también varían las masas de la estructura.

Características del Modelo H :

El modelo H estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

MODELO H

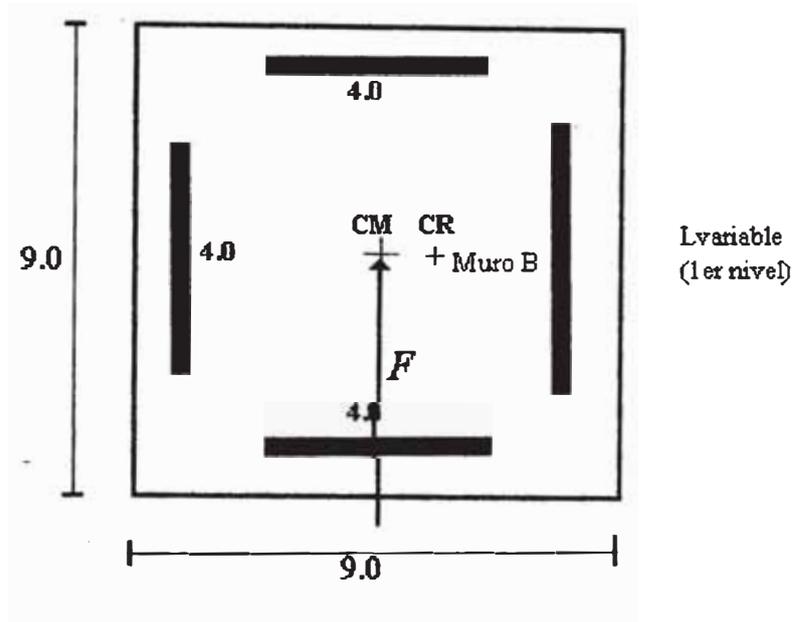


FIG. 3.31

- Las longitudes de los muros son todos de 4.0 m en todos los pisos, excepto el muro B que varía de longitud en el primer nivel.
- Se hace variar la longitud del muro B en el primer nivel en longitudes de 4.0 , 5.0 , 6.0 y 8.0 m.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección Y en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro B (Tabla 3.17)
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la longitud del muro B (fig. 3.32); un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.33) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.34) .

TABLA 3.17
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO H

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 0.432 | 0.344 | 0.189 | 0.500 | |
| 5.00 | 24.73 | 43.82 | 53.39 | 12.37 | 21.91 | 28.81 | 0.359 | 0.286 | 0.157 | 0.540 | |
| 6.00 | 24.79 | 43.93 | 53.66 | 12.40 | 21.96 | 30.26 | 0.307 | 0.245 | 0.135 | 0.564 | |
| 8.00 | 24.92 | 44.15 | 54.21 | 12.46 | 22.07 | 32.09 | 0.240 | 0.192 | 0.106 | 0.592 | |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 4.00 | 24.67 | 43.71 | 53.11 | 12.33 | 21.85 | 26.56 | 1.409 | 0.833 | 0.307 | 0.500 | |
| 5.00 | 24.73 | 43.82 | 53.39 | 13.01 | 23.77 | 29.85 | 1.059 | 0.612 | 0.215 | 0.559 | |
| 6.00 | 24.79 | 43.93 | 53.66 | 13.34 | 24.70 | 31.92 | 0.878 | 0.495 | 0.163 | 0.595 | |
| 8.00 | 24.92 | 44.15 | 54.21 | 13.64 | 25.48 | 34.38 | 0.714 | 0.386 | 0.109 | 0.634 | |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|--------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| Long b | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 4.00 | 25.54 | 37.16 | 47.71 | 12.77 | 18.58 | 23.85 | 1.163 | 0.686 | 0.261 | 0.500 | |
| 5.00 | 25.37 | 36.81 | 47.22 | 12.75 | 19.21 | 25.41 | 0.826 | 0.477 | 0.175 | 0.538 | |
| 6.00 | 24.95 | 36.10 | 46.39 | 12.48 | 19.14 | 26.04 | 0.652 | 0.368 | 0.128 | 0.561 | |
| 8.00 | 24.33 | 35.17 | 45.46 | 12.02 | 18.90 | 26.88 | 0.501 | 0.273 | 0.083 | 0.591 | |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO H

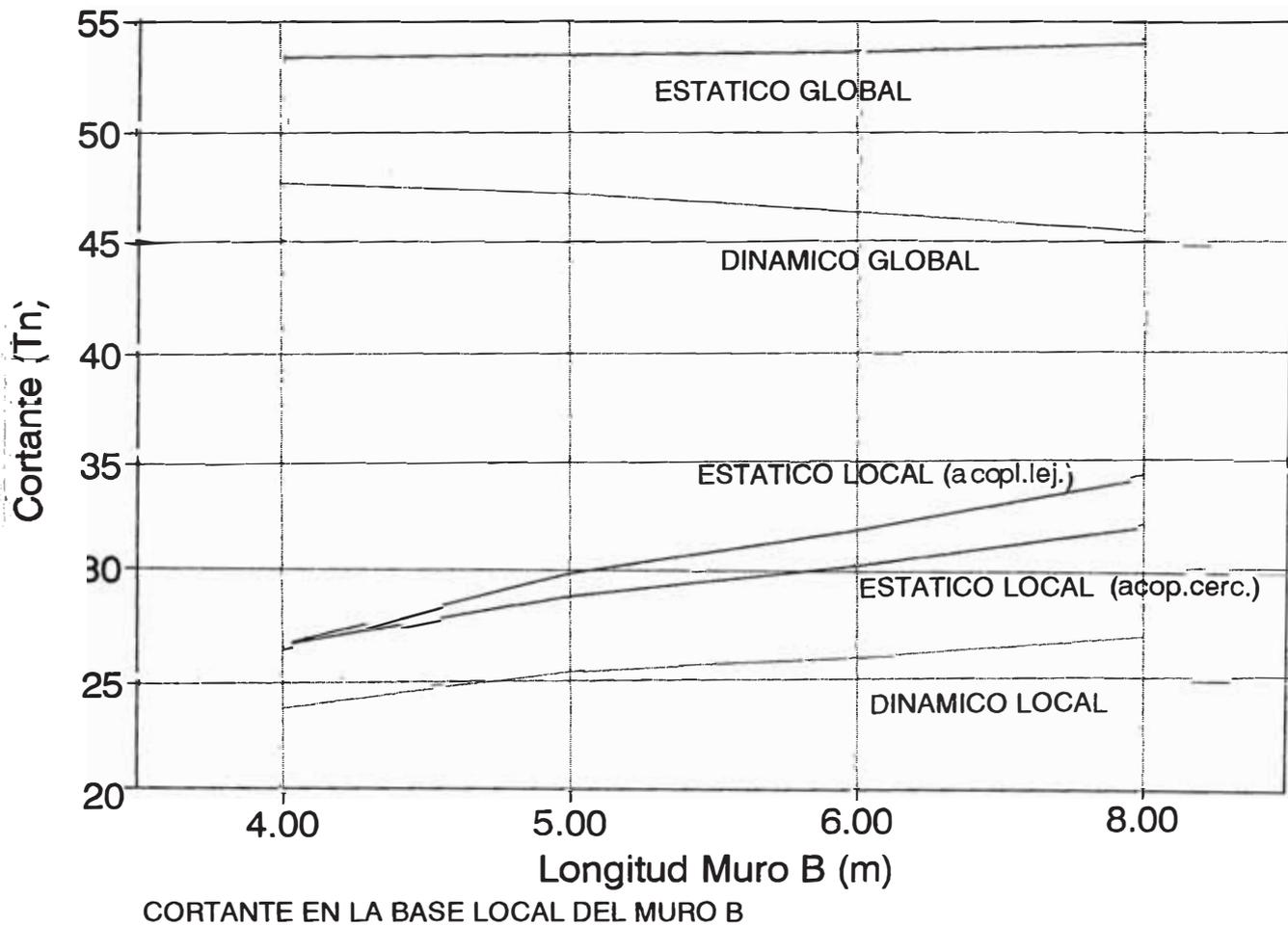


FIG. 3.32

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL MODELO H

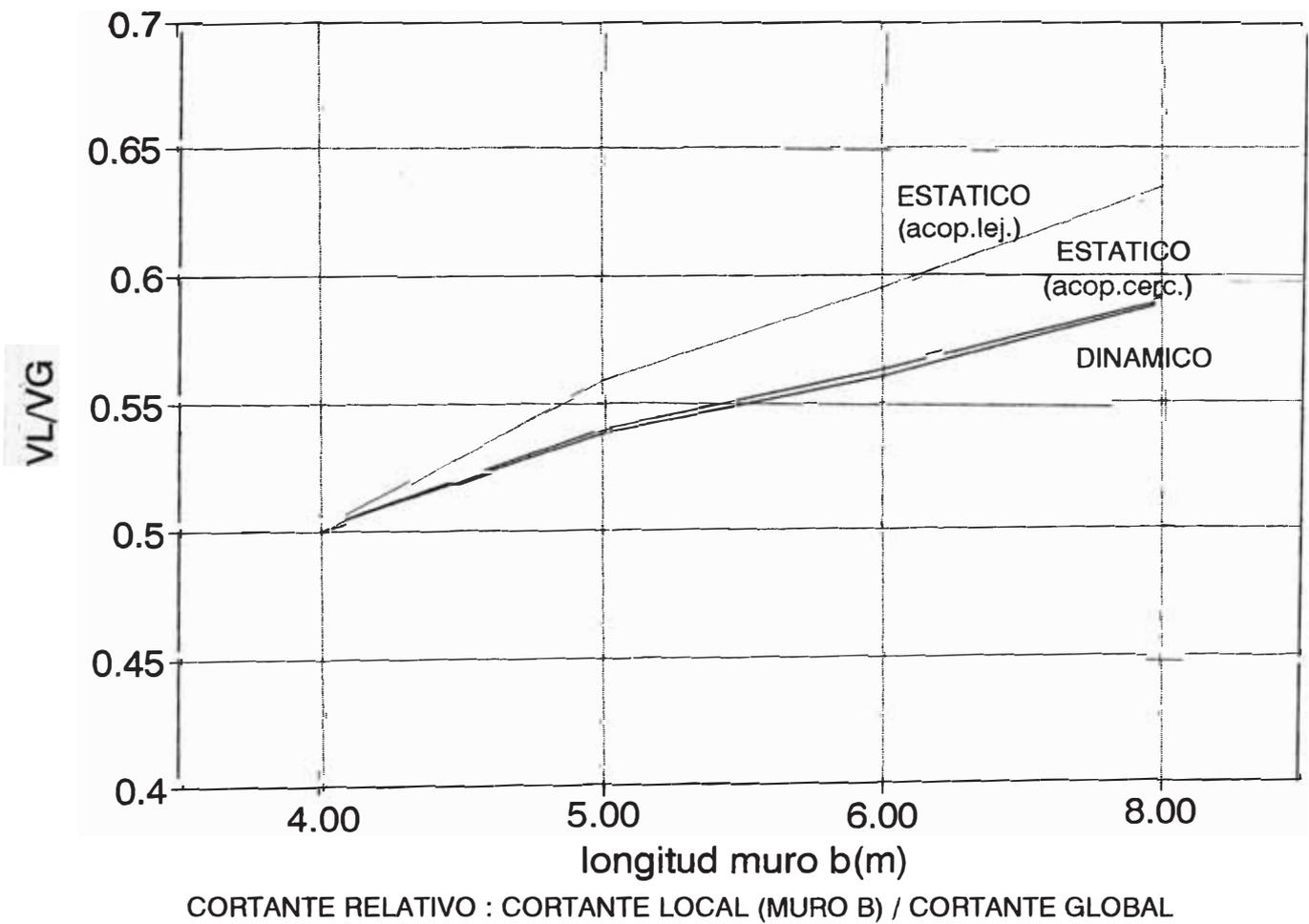


FIG. 3.33

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO H

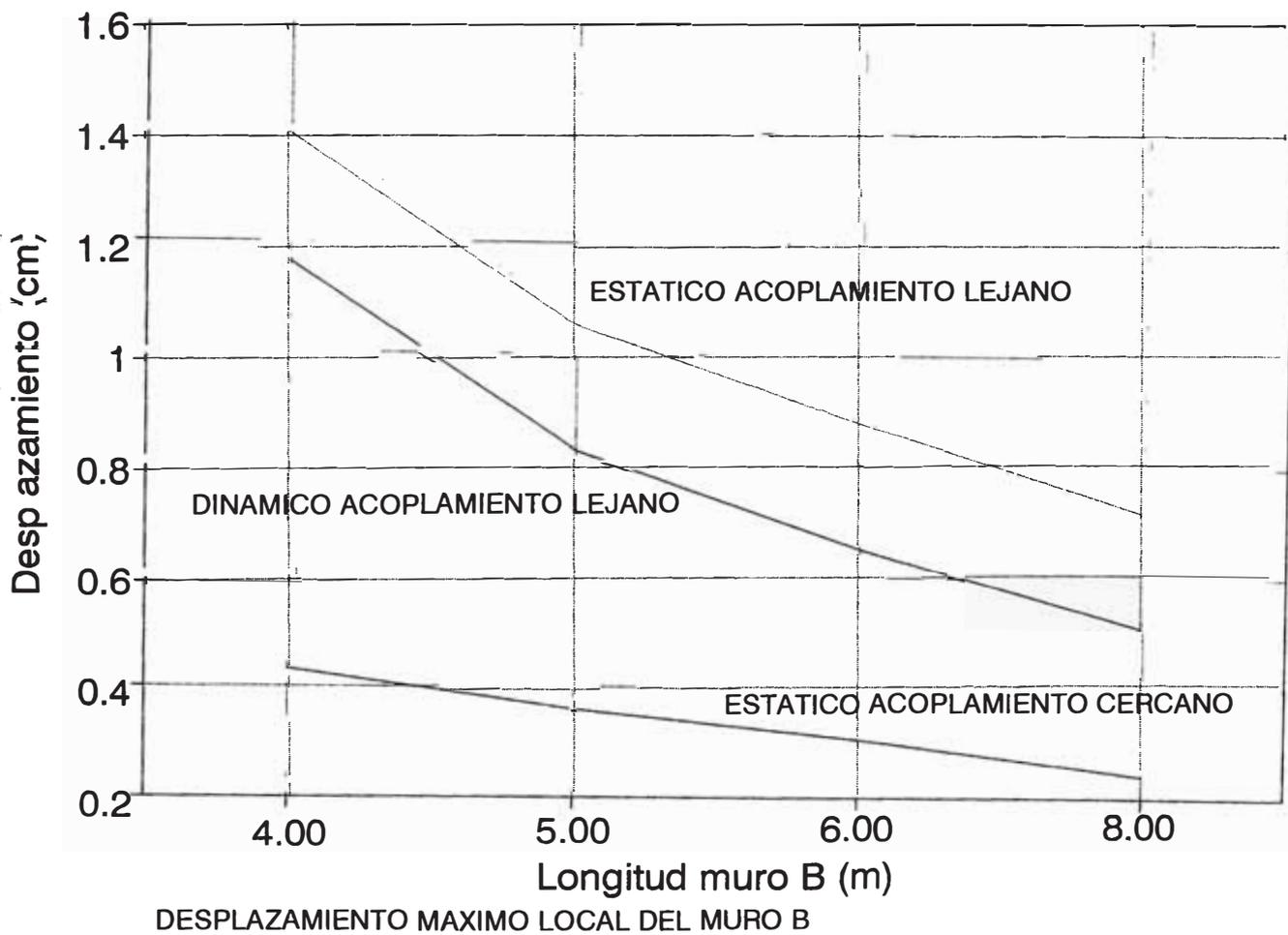


FIG. 3.34

Resultados y Comentarios : Modelo H

CORTANTES

- Se observa en los análisis estáticos, que al variar la longitud del muro B en el primer nivel , varían las fuerzas cortantes a nivel global; esto se da, al igual que en el modelo G anterior porque también varían las masas de la estructura.
- También se observa al variar la longitud del muro B, que las fuerzas cortantes a nivel local son distintas en un análisis estático con modelos de acoplamiento cercano que en un análisis estático con modelos de acoplamiento lejano.
- Las fuerzas cortantes en la base a nivel local del muro B aumentan en todos los métodos cuando aumenta la longitud del muro B.
- Se puede notar que los aumentos de las fuerzas cortantes a nivel global en el análisis estático son pequeños (del orden del 2 %) ; pero a nivel local del muro B el aumento es del orden del 25 %, esto es porque aumenta la longitud precisamente éste muro en la base aumentando su rigidez y por lo tanto la fuerza cortante mas que en el caso anterior.
- Los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) son distintos ; ya no son iguales como en el caso anterior.
- Se observa que las fuerzas cortantes a nivel global en el análisis dinámico disminuyen al aumentar la longitud B en el primer piso. Esta disminución se da porque al hacer eso aumenta la excentricidad y por lo tanto los modos de vibración de traslación van haciéndose menos predominantes.

DESPLAZAMIENTOS

- Se confirma como en los casos anteriores que los desplazamientos , en este caso locales del muro B, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) que en el análisis con acoplamiento cercano.
- Los desplazamientos a nivel local del muro B en todos los métodos de análisis disminuyen al aumentar la longitud del muro B porque aumenta la rigidez del muro.
- Se observa que ahora esta disminución es mas fuerte que en el caso anterior. En el modelo G era del orden del 5 % , en cambio ahora esta disminución es del orden del 50 % . Las características de rigidez del primer nivel son más importantes, es decir influyen más en los desplazamientos, que las rigideces del último nivel.

3.7 EFECTOS DE LA IRREGULARIDAD EN LAS ALTURAS DE ENTREPISO

MODELO I

Objetivo :

El objetivo de este modelo no simétrico es comparar los resultados obtenidos de los diferentes procedimientos de análisis sísmico en edificios de albañilería en donde varía la altura en el primer piso y ver de que manera esta variación influye en los cortantes y desplazamientos de la estructura.

Para este modelo, cuya planta es igual que el modelo E anterior, se presentan las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro 1.

Descripción :

El modelo I es igual que el modelo E, con planta no simétrica y 7 muros de albañilería (5 en la dirección X y 2 en la dirección Y) dispuestos como se ve en la figura 3.35.

En este modelo se hace variar la altura solo del primer piso desde una longitud inicial de 2.40 m hasta una altura final de 5.00 m.

Se debe mencionar que al variar la altura en el primer piso, también varían las masas de la estructura (en el primer nivel).

Características del Modelo I :

El modelo I estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

MODELO I

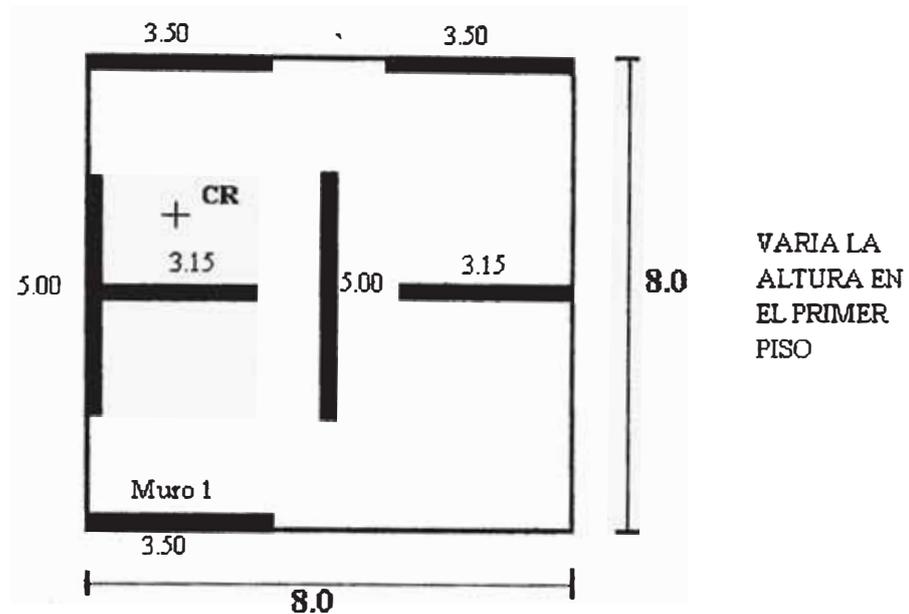


FIG. 3.35

- Las longitudes de los muros son los que aparecen en la fig. 3.35 m en todos los pisos.
- Por la disposición de los muros en planta, el centro de rigidez está en : $x=2.037$, $y=4.844$ del origen ubicado en el extremo inferior izquierdo.
- Se hace variar la altura solo del primer piso en alturas de 2.40 , 3.00 , 4.00 y 5.00 m.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección X en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro 1 (Tabla 3.18).
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro 1 en la base respecto a la variación de la altura del primer piso (fig. 3.36); un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.37) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.38) .

TABLA 3.18
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO I

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| Muro B | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 2.40 | 22.82 | 42.12 | 51.05 | 6.53 | 12.05 | 14.78 | 0.298 | 0.239 | 0.132 | 0.290 |
| 3.00 | 22.06 | 41.42 | 52.57 | 6.31 | 11.85 | 15.08 | 0.367 | 0.310 | 0.205 | 0.287 |
| 4.00 | 21.10 | 40.53 | 54.09 | 6.04 | 11.60 | 15.56 | 0.547 | 0.493 | 0.309 | 0.288 |
| 5.00 | 20.37 | 39.84 | 55.62 | 5.83 | 11.40 | 16.01 | 0.835 | 0.783 | 0.681 | 0.288 |

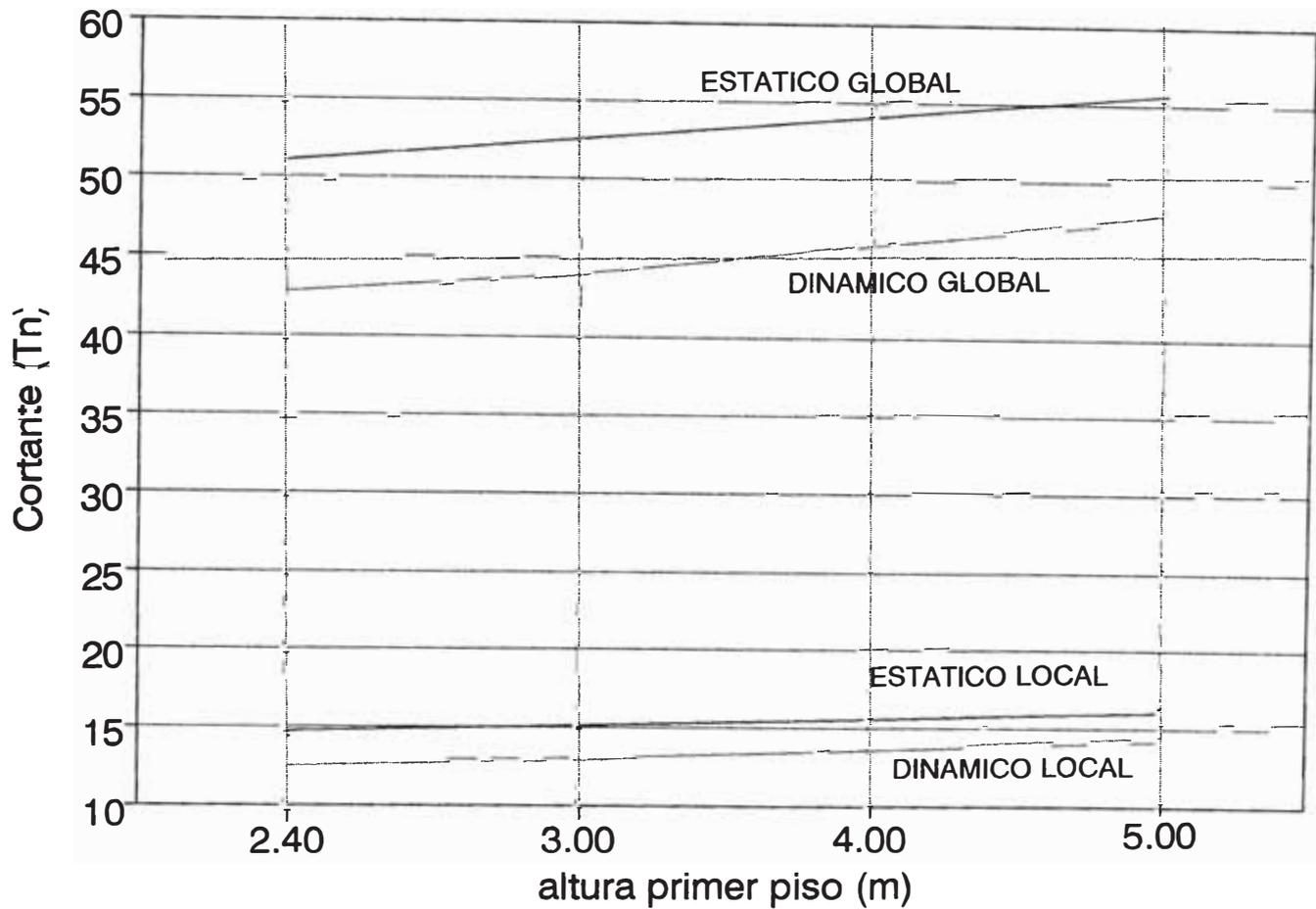
ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro B | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 2.40 | 22.82 | 42.12 | 51.05 | 6.65 | 12.19 | 14.76 | 1.104 | 0.643 | 0.229 | 0.289 |
| 3.00 | 22.06 | 41.42 | 52.57 | 6.43 | 12.01 | 15.07 | 1.397 | 0.853 | 0.353 | 0.287 |
| 4.00 | 21.10 | 40.53 | 54.09 | 6.14 | 11.76 | 15.55 | 2.023 | 1.314 | 0.646 | 0.288 |
| 5.00 | 20.37 | 39.84 | 55.62 | 5.92 | 11.56 | 16.03 | 2.850 | 1.942 | 1.073 | 0.288 |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| Muro B | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | |
| 2.40 | 22.23 | 32.97 | 42.77 | 6.75 | 9.87 | 12.83 | 0.844 | 0.491 | 0.182 | 0.300 |
| 3.00 | 22.10 | 33.00 | 44.00 | 6.75 | 9.88 | 13.05 | 1.100 | 0.669 | 0.285 | 0.297 |
| 4.00 | 21.86 | 34.35 | 45.91 | 6.55 | 10.12 | 13.62 | 1.651 | 1.065 | 0.533 | 0.297 |
| 5.00 | 21.51 | 35.28 | 47.69 | 6.40 | 10.40 | 14.13 | 2.382 | 1.612 | 0.901 | 0.296 |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO I



* CORTANTE EN LA BASE LOCAL DEL MURO 1

FIG. 3.36

CORTANTE LOCAL NURO B / CORTANTE GLOBAL MODELO I

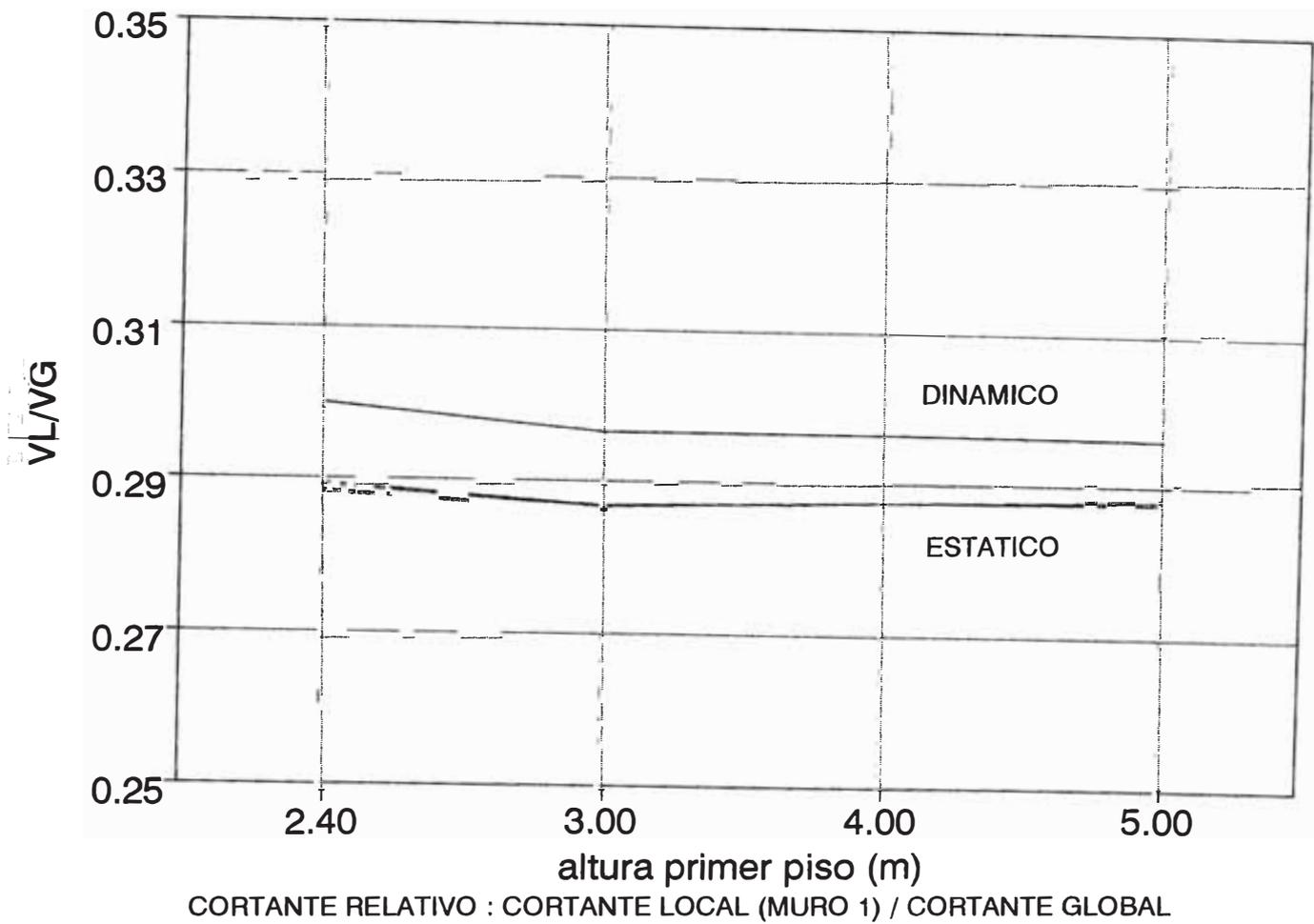
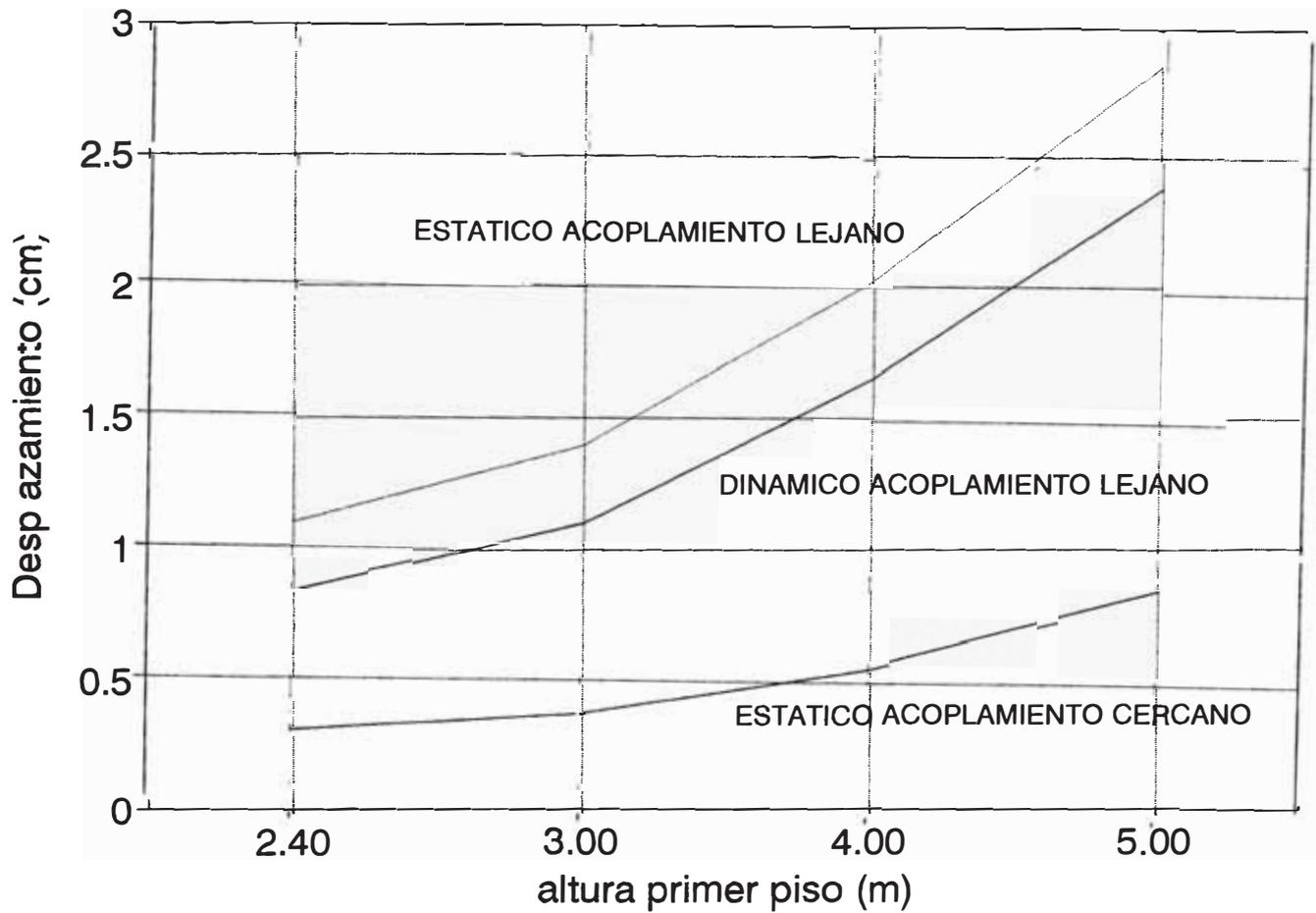


FIG. 3.37

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO I



* DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL DEL MURO 1

FIG. 3.38

Resultados y Comentarios : Modelo I

CORTANTES

- En los análisis estáticos, al variar la altura solo en el primer piso, varían las fuerzas cortantes a nivel global; esto es porque también varían las masas de la estructura.
- También se observa al variar la altura del primer piso, que las fuerzas cortantes a nivel local son distintas en un análisis estático con modelos de acoplamiento cercano que en un análisis estático con modelos de acoplamiento lejano. Pero las fuerzas cortantes en la base son casi iguales.
- Las fuerzas cortantes a nivel local del muro B aumenta en todos los métodos cuando aumenta la altura del primer piso. En algunos casos esto podría ser compensado por el menor valor del espectro de respuesta al hacerse la estructura más flexible (mayor periodo fundamental). debe recordarse que para estas comparaciones se supuso un espectro constante.
- Como en los otros casos los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) son mayores en el análisis dinámico que en el análisis estático.
- Se puede notar que los aumentos de las fuerzas cortantes son pequeños (10%).

DESPLAZAMIENTOS

- Se confirma, como en los casos anteriores, que los desplazamientos locales, en este caso del muro 1, son mayores en un análisis con acoplamiento lejano (estático ó dinámico) que en el análisis con acoplamiento cercano.
- Los desplazamientos máximos a nivel local del muro 1 en todos los métodos de análisis aumentan al aumentar la altura del primer piso. Este aumento es en todos los casos mas del 100 % cuando la altura del primer piso sube de 2.4 m a 5.0 m.

MODELO J

Objetivo :

El modelo J es similar al modelo no simétrico I anterior, en donde el objetivo es comparar los procedimientos de análisis sísmico en edificios de albañilería en donde varía la altura en el último piso. Con este modelo y con el anterior se pueden observar las diferencias que se obtienen al variar la altura solo en el primer piso con las que resulta de variar la altura en el último piso.

Para este modelo, se presentan las fuerzas cortantes a nivel global y las fuerzas cortantes y desplazamientos a nivel local del muro 1.

Descripción :

El modelo I es igual que el modelo E, con planta no simétrica y 7 muros de albañilería (5 en la dirección X y 2 en la dirección Y) dispuestos como se ve en la figura 3.39.

En este modelo se hace variar la altura solo del último piso desde una longitud inicial de 2.40 m hasta una altura final de 5.00 m.

Se debe mencionar que al variar la altura en el último piso, también varían las masas de la estructura.

Características del Modelo J :

El modelo J estudiado corresponde también a un edificio de albañilería de 3 pisos con las mismas características físicas que los modelos anteriores.

MODELO J

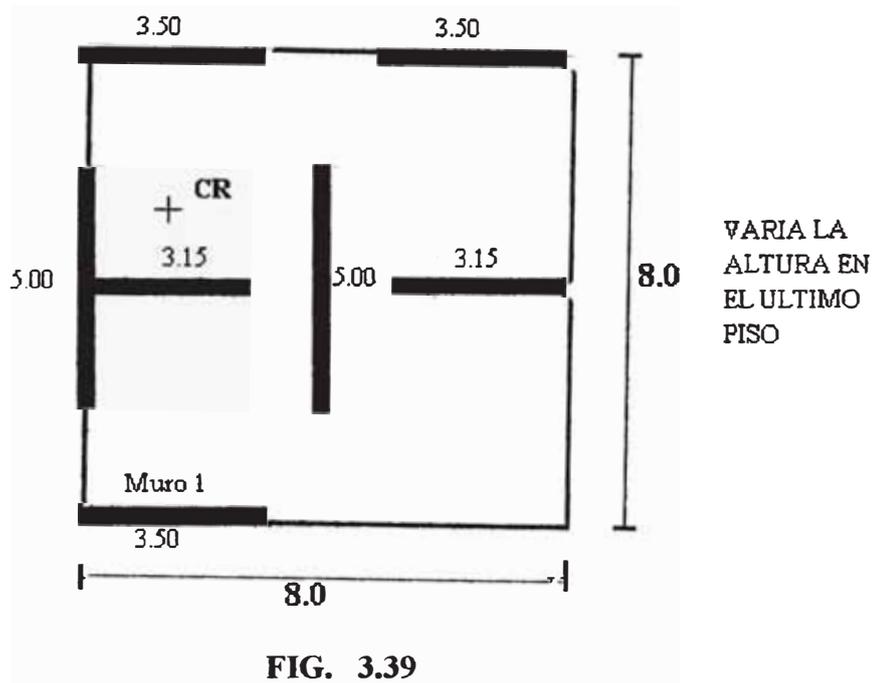


FIG. 3.39

- Las longitudes de los muros son las que se muestran en la fig. 3.39 m, iguales en todos los pisos.
- Por la disposición de los muros en planta, el centro de rigidez está en : $x=1.971$, $y=6.554$ del origen ubicado en el extremo inferior izquierdo.
- Se hace variar la altura solo del último piso en alturas de 2.40 , 3.00 , 4.00 y 5.00 m.
- Se calculan los cortantes globales en la dirección X en cada piso y para cada tipo de análisis; así como también los cortantes y desplazamientos locales del muro 1 (Tabla 3.19)
- Se hacen gráficos de los cortantes globales y locales del muro B en la base respecto a la variación de la altura en el último piso (fig. 3.40); un gráfico para los cortantes relativos (V_{Local}/V_{Global}) (fig. 3.41) y un gráfico para los desplazamientos locales máximos (último piso) (fig. 3.42) .

TABLA 3.19
COMPARACION DE FUERZAS CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS
MODELO J

ESTATICO ACOPLAMIENTO CERCANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 2.40 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 6.53 | 12.05 | 14.78 | 0.298 | 0.239 | 0.132 | 0.286 | |
| 3.00 | 25.03 | 44.33 | 53.48 | 7.19 | 12.71 | 15.32 | 0.348 | 0.250 | 0.137 | 0.286 | |
| 4.00 | 28.69 | 48.08 | 56.54 | 8.28 | 13.79 | 16.22 | 0.475 | 0.268 | 0.148 | 0.287 | |
| 5.00 | 32.34 | 51.71 | 59.59 | 9.35 | 14.85 | 17.11 | 0.683 | 0.285 | 0.153 | 0.287 | |

ESTATICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 2.40 | 22.82 | 42.12 | 51.65 | 6.65 | 12.19 | 14.76 | 1.104 | 0.643 | 0.229 | 0.286 | |
| 3.00 | 25.03 | 44.33 | 53.48 | 7.28 | 12.85 | 15.29 | 1.397 | 0.717 | 0.250 | 0.286 | |
| 4.00 | 28.69 | 48.08 | 56.54 | 8.33 | 13.92 | 16.16 | 2.038 | 0.854 | 0.288 | 0.286 | |
| 5.00 | 32.34 | 51.71 | 59.59 | 9.38 | 14.98 | 17.04 | 2.913 | 1.009 | 0.330 | 0.286 | |

DINAMICO ACOPLAMIENTO LEJANO

| | | | | | | | | | | Muro B | |
|---------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|--|
| h 1er.p | Cortantes Globales (TN) | | | Cortantes Locales (TN) | | | Desplazamient. Locales (cm) | | | VL/VG | |
| | VG3 | VG2 | VG1 | VL3 | VL2 | VL1 | D3 | D2 | D1 | | |
| 2.40 | 22.23 | 32.97 | 42.77 | 6.75 | 9.87 | 12.83 | 0.844 | 0.491 | 0.182 | 0.300 | |
| 3.00 | 23.49 | 34.39 | 43.66 | 7.13 | 10.38 | 12.92 | 1.031 | 0.532 | 0.192 | 0.296 | |
| 4.00 | 25.09 | 36.74 | 45.24 | 7.53 | 11.03 | 13.59 | 1.419 | 0.604 | 0.213 | 0.300 | |
| 5.00 | 26.19 | 38.82 | 47.02 | 7.83 | 11.71 | 14.20 | 1.918 | 0.683 | 0.235 | 0.302 | |

CORTANTE EN LA BASE GLOBAL Y LOCAL* MODELO J

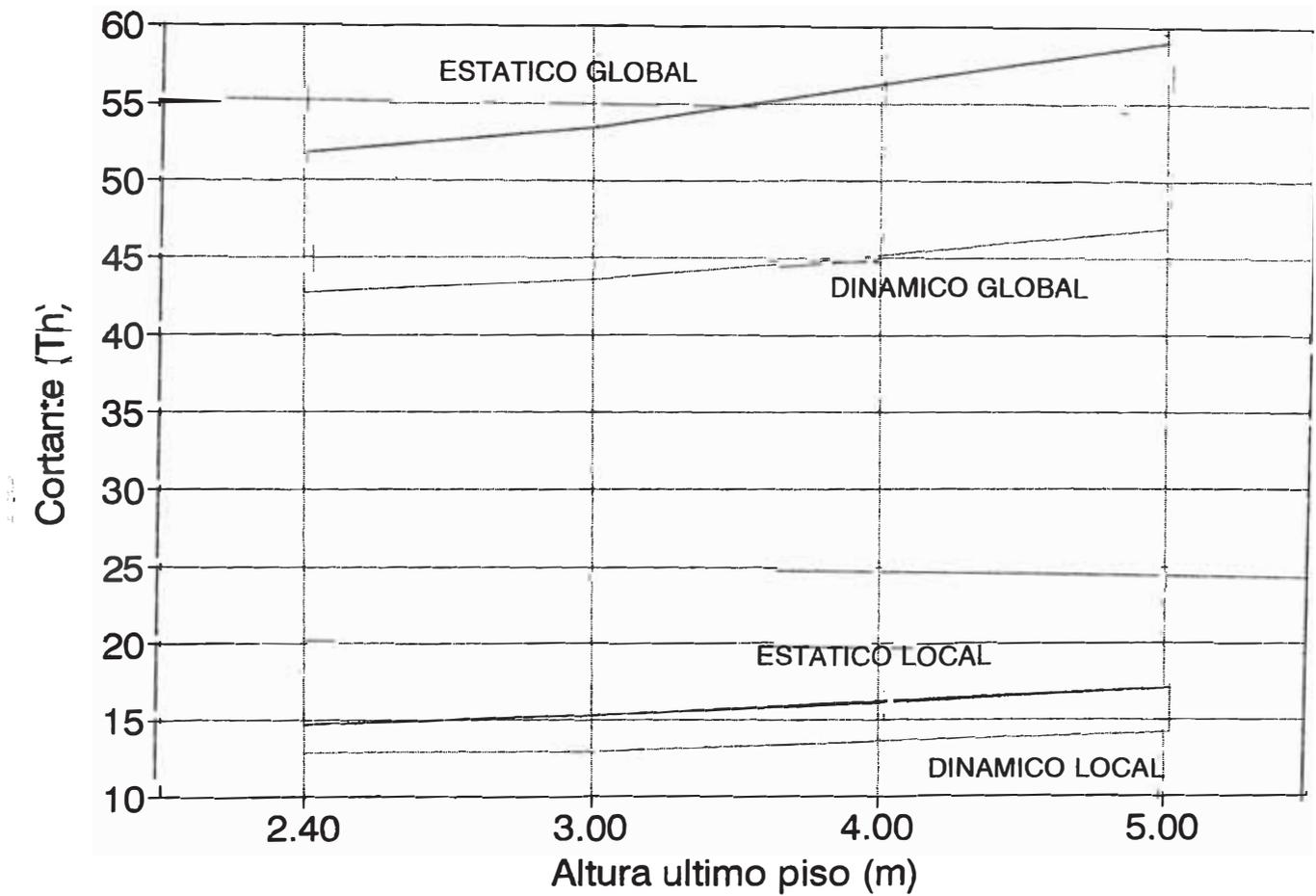


FIG. 3.40

CORTANTE LOCAL MURO B / CORTANTE GLOBAL
MODELO J

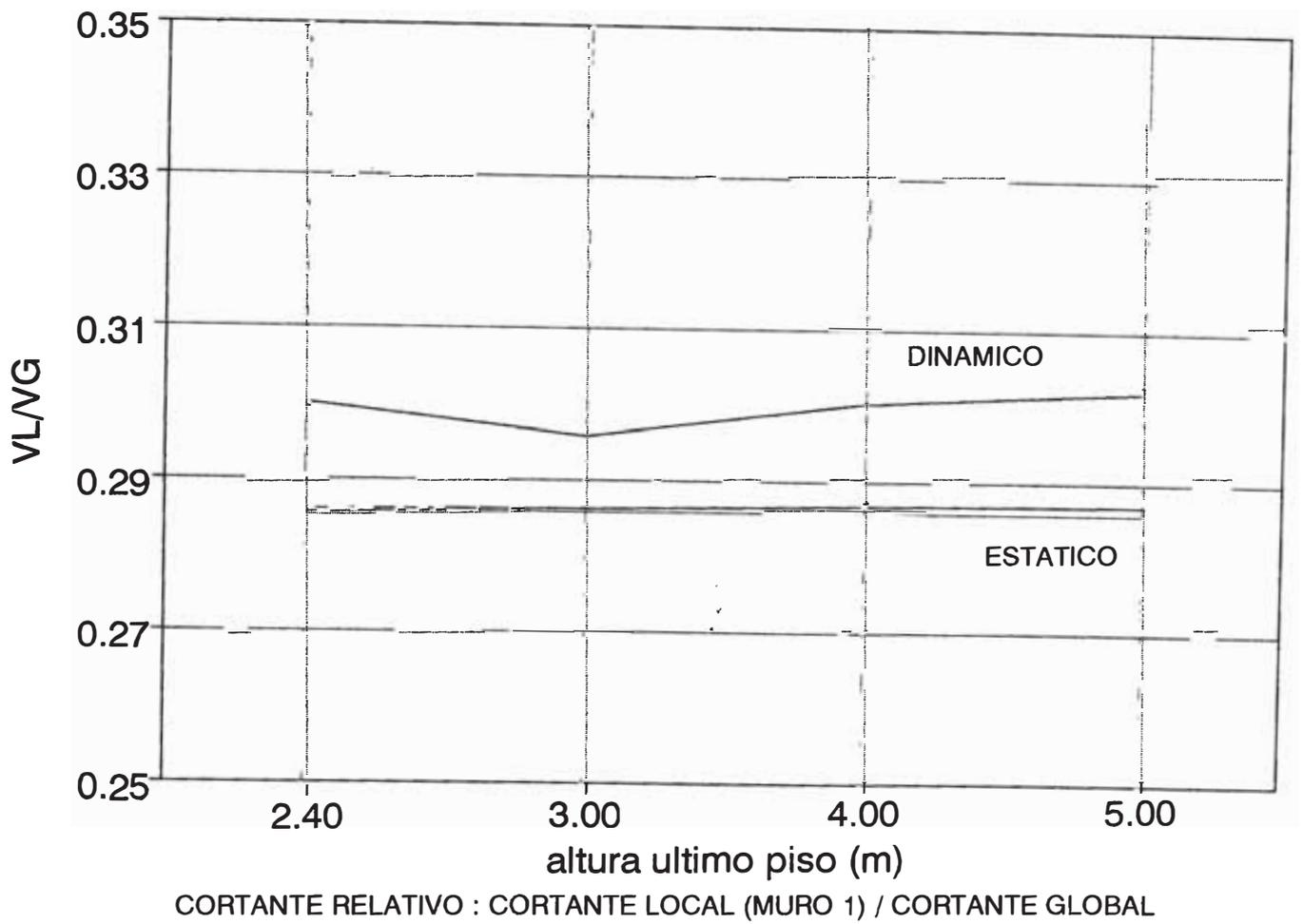
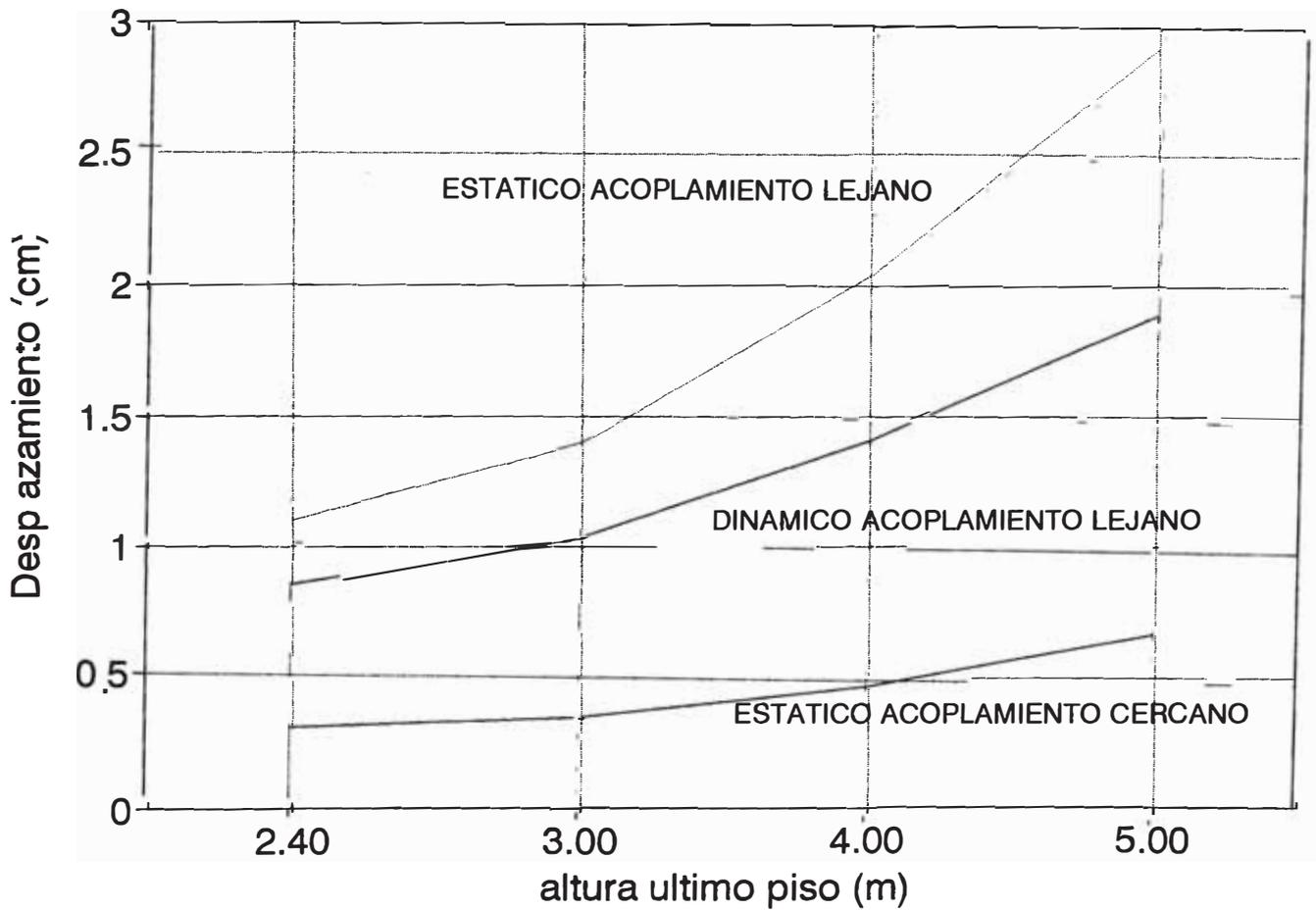


FIG. 3.41

DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL* MODELO J



* DESPLAZAMIENTO MAXIMO LOCAL DEL MURO 1

FIG. 3.42

Resultados y Comentarios : Modelo J

CORTANTES

- Se observa en las fuerzas cortantes en este modelo tienen las mismas tendencias y con valores muy cercanos que en el caso anterior.
- En este modelo J , los aumentos de las fuerzas cortantes en todos los casos son del orden del 15 % ; en cambio en el modelo I anterior el aumento fue del orden del 10 %. La mayor parte de los cambios se deben al incremento de las masas.

DESPLAZAMIENTOS

- Al igual que en las fuerzas cortantes, se observa que los desplazamientos en este modelo J tienen las mismas tendencias que las del modelo I anterior. Las diferencias son pequeñas.

3.8 CONCLUSIONES

CORTANTES

- Al hacer un análisis estático en una estructura de albañilería, se obtienen fuerzas cortantes en la base a nivel global más conservadores que los obtenidos en un análisis dinámico. Esto se da porque en un análisis estático se supone que los valores máximos de cada modo son simultáneos. Pero estas diferencias son menores cuando la estructura es más rígida, que es el caso generalmente de una estructura de albañilería; por lo tanto el análisis estático resulta apropiado para este tipo de estructura.
- Las fuerzas cortantes a nivel local obtenidas de análisis estáticos con modelos de acoplamiento cercano y con modelos de acoplamiento lejano son las mismas cuando todos los muros son de igual rigidez. En este caso las componentes de desplazamiento debidas a giros y a aquellas debidas a distorsiones cortantes mantienen una relación constante. En cambio, cuando los muros son disímiles la relativa importancia de las distintas componentes varía de muro a muro. El acoplamiento es más significativo para los muros más rígidos. Al simplificar el modelo suponiendo acoplamiento cercano se afecta la rigidez de los distintos muros en distinta proporción, de allí que se modifique la distribución de las fuerzas cortantes.
- Aún cuando se observan diferencias entre los resultados obtenidos con modelos de acoplamiento lejano y con modelos de acoplamiento cercano, debe reconocerse que -para estructuras de albañilería como las

analizadas- el acoplamiento no es muy importante. Esto se pone en evidencia, por ejemplo, en la poca influencia que tienen cambios en la rigidez del último nivel sobre los resultados obtenidos para el cortante en la base.

- Alteraciones tales como un cambio de altura de un entrepiso no cambian significativamente los resultados, excepto por el posible incremento de masas y sus consecuencias en el corte en la base y otros resultados.
- En cambio cuando se consideran modificaciones que alteran significativamente la rigidez torsional (como en el caso del modelo B con $b = 1.0$ m), si pueden observarse importantes cambios en el comportamiento. Por ejemplo, puede volverse más importante un modo torsional, requiriéndose un mayor número de modos para obtener una solución correcta.

DESPLAZAMIENTOS

- Los desplazamientos son considerablemente mayores cuando se hace un análisis con modelos de acoplamiento lejano que cuando se hace un análisis con modelos de acoplamiento cercano porque el primero considera además del desplazamiento por traslación, el desplazamiento por efecto de giro de los muros. Pero como se dijo anteriormente, lo que se requiere cuantificar es la deformación (y en consecuencia el esfuerzo) sobre los muros; los desplazamiento de cuerpo rígido no son importantes. Por lo tanto un análisis con modelos de acoplamiento cercano son en este caso más útiles.

COMPARACION DE RESULTADOS

TEORICOS Y EXPERIMENTALES

En este capítulo se comparan período fundamentales medidos en edificios de albañilería con los correspondientes resultados teóricos, es decir obtenidos de modelos numéricos. Aunque el período fundamental no es la única característica importante en el comportamiento dinámico de una estructura, es relativamente fácil de medir y, por otro lado, como las masas pueden ser estimadas con bastante precisión, la comparación de períodos equivale a una comparación de las rigideces "medidas" con los valores obtenidos de un modelo matemático de la estructura.

Los edificios estudiados pueden considerarse representativos de muchas estructuras de albañilería confinada, de cuatro pisos. Debe anotarse que tanto las mediciones como los resultados teóricos corresponden a situaciones con deformación pequeña ; por lo tanto, las conclusiones no son necesariamente aplicables a situaciones en las que las no linealidades pudieran ser importantes.

4.1 - Descripción de las Edificaciones Estudiadas.

A continuación se describen las edificaciones estudiadas en las cuales se hicieron las evaluaciones de los períodos por diferentes métodos teóricos y las mediciones experimentales:

A - Conjunto Habitacional SANTA ROSA

Este conjunto está constituido por edificaciones de muy diversos tipos. El edificio estudiado es el típico de la mayor parte de este conjunto habitacional. Se trata de un edificio de 4 pisos de albañilería confinada, con muros de cabeza y de soga, con distribución de muros prácticamente simétrica (ver fig. 4.1), pues la excentricidad en la dirección X es de 0.04 m. y en la dirección Y de 0.08 m. La altura de entrepisos es de 2.55 m. Existe una abertura en los pisos debido a la zona de escaleras que es pequeña respecto al área total (0.9 %). Las características de los materiales se han tomado igual a las de los modelos estudiados en el capítulo 3.

El aspecto más desfavorable en relación al comportamiento sísmico está en las "esquinas reentrantes". La configuración en cruz podría dar lugar a una significativa deformación de la losa al ocurrir un sismo severo. Si bien esto no es necesariamente malo, implica que la hipótesis de una losa infinitamente rígida, en la que se basan la mayor parte de los procedimientos de análisis, no sea aplicable.

B - Conjunto Habitacional TUPAC AMARU

El edificio estudiado es también en este caso de 4 pisos, de albañilería confinada, con muros de cabeza y de soga y con distribución de muros prácticamente simétrica en una dirección (ver fig. 4.2), pues la excentricidad en la dirección X es de 0.04 m. En la dirección Y es de 0.59 m. La altura de entrepisos es de 2.42 m. Igualmente las características de los materiales se toman igual a los de los modelos estudiados en el capítulo 3.

4.2 - Estimación Teórica del Período Fundamental.

A continuación se presentan diferentes métodos numéricos para la determinación del período fundamental de las edificaciones estudiadas, los cuales son evaluados de : El Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) , el Uniform Building Code (UBC) , la fórmula de la Viga de Flexión , la fórmula de la Viga de Corte y el correspondiente del análisis dinámico.

A.- REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES (RNC)

La norma peruana indica que el período fundamental de vibración se determinará mediante procedimientos teóricos que cumplan con las explicaciones de la dinámica y que tengan en cuenta las características estructurales y la distribución de masas de la edificación.

La misma norma indica que de no usarse este procedimiento, se podrá estimar el período fundamental mediante expresiones indicadas en la norma, las cuales van desde $T=0.08N$ para edificios aporticados, $T=0.09 H/ \sqrt{D}$ para edificios aporticados con algún tipo de muro, hasta $T=0.05 H/ \sqrt{D}$ para edificios donde los muros de corte sean los principales elementos resistentes de la fuerza sísmica que es el caso de las edificaciones de albañilería. Por lo tanto para el cálculo del período fundamental se obtiene

$$T = 0.05 \frac{H}{\sqrt{D}}$$

En las expresiones precedentes H es la altura total del edificio y D su dimensión en planta en la dirección de la componente sísmica considerada.

| Edificio | H (m) | Dx (m) | Dy (m) | Tx (s) | Ty (s) |
|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| SANTA ROSA | 10.20 | 29.90 | 25.40 | 0.093 | 0.101 |
| TUPAC AMARU | 9.68 | 24.05 | 11.30 | 0.099 | 0.152 |

B.- UNIFORM BUILDING CODE (UBC)

El código UBC de 1991 indica que el período fundamental puede ser evaluado aproximadamente de la siguiente fórmula :

$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

donde h_n es la altura de la edificación y el valor de C_t para estructuras con muros de corte de albañilería puede ser tomado de la siguiente expresión :

$$C_t = \sqrt{A_c}$$

El valor de A_c puede ser determinado de la siguiente formula :

$$A_c = \sum A_e(0.2 + \frac{D_e}{h_n})^2$$

donde A_e es el área de corte ($5/6A$) , D_e es la longitud de cada muro resistente y h_n es la altura total del muro.

El valor (D_e/h_n) no debe exceder de 0.9.

Cálculo del Período Fundamental T :

| Edificio | h_n (m) | A_{cx} | A_{cv} | T_x (s) | T_v (s) |
|-------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| SANTA ROSA | 10.20 | 13.723 | 12.406 | 0.154 | 0.162 |
| TUPAC AMARU | 9.68 | 6.642 | 5.047 | 0.221 | 0.254 |

(Los cálculos de los valores de A_c se presentan en el Anexo B)

C.- FORMULA DE LA VIGA DE FLEXION

Para el caso de la viga de flexión en voladizo se obtienen las siguientes expresiones para la determinación de la frecuencia ω y del período fundamental T ($n = 1$):

$$\omega_1 = \frac{(0.597\pi)^2}{H^2} \frac{EI}{m} \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$$

donde E es el módulo de elasticidad ($250,000 \text{ Tn/m}^2$), I es la suma de los momentos de inercia de los muros en la dirección del sismo, H la altura de la edificación y m la masa por unidad de longitud.

Para los otros modos de vibración ($n > 1$) se obtiene:

$$\omega_n = \frac{(2n-1)^2 \pi^2 \sqrt{EI}}{4H^2 m} \quad T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

| Cálculo del Período Fundamental T : | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|-----------|
| Edificio | H (m) | I_x (m ⁴) | I_y (m ⁴) | m (Tn.s ²) | T_x (s) | T_y (s) |
| SANTA ROSA | 10.20 | 179.5 | 122.5 | 12.675 | 0.099 | 0.120 |
| TUPAC AMARU | 9.68 | 37.2 | 26.3 | 7.846 | 0.154 | 0.183 |

D.- FORMULA DE LA VIGA DE CORTE

Para el caso de la viga de corte en voladizo los períodos se expresan como:

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)V_s}$$

donde V_s es la velocidad de propagación de las ondas de corte:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

donde G es el módulo de corte ($G = 100,000 \text{ Tn/m}^2$) y ρ es la masa por unidad de longitud por unidad de área de muros

Para el período fundamental, cuando $n = 1$ resulta:

$$T_1 = \frac{4H}{V_s}$$

| Cálculo del Período Fundamental T : | | | | | |
|---------------------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| Edificio | H (m) | A_x (m ²) | A_y (m ²) | T_x (s) | T_y (s) |
| SANTA ROSA | 10.20 | 23.76 | 21.89 | 0.094 | 0.098 |
| TUPAC AMARU | 9.68 | 16.05 | 13.42 | 0.086 | 0.094 |

E.- ANALISIS DINAMICO

Para el análisis dinámico, el período fundamental correspondiente al primer modo de vibración se evalúa con el procedimiento descrito anteriormente con modelos de acoplamiento lejano (análisis dinámico pseudo-tridimensional).

Cálculo del Período Fundamental T :

| Edificio | H (m) | T_v (s) | T_x (s) | % Me_1 | % Me_x |
|-------------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
| SANTA ROSA | 10.20 | 0.1874 | 0.1833 | 78.85 | 78.38 |
| TUPAC AMARU | 9.68 | 0.2448 | 0.2272 | 74.10 | 43.82 |

donde : % Me es el porcentaje de la masa efectiva respecto de la masa total.

Para el análisis dinámico hecho en los diferentes modelos , se asumieron algunas consideraciones que habitualmente se toman para modelar las edificaciones como son

- No considerar el tarrajeo que se hace generalmente a los muros de albañilería.

No se consideran la influencia de los dinteles ni abertura de vanos de ventanas

No se toma en cuenta la influencia de los muros en el sentido perpendicular a los muros analizados.

De los resultados obtenidos del análisis dinámico con las consideraciones descritas, se observa que los periodos en ambas edificaciones dan valores más altos que los obtenidos en el reglamento nacional de construcciones.

4.3 - Medición de los Períodos Fundamentales.

Los períodos fundamentales fueron determinados a partir de registros de Microtrepidaciones.

Microtrepidación es la vibración natural del terreno o la edificación, con períodos que oscilan entre 0.05 a 2 segundos y amplitudes de 0.1 a 5 μm (micrón). Estas se originan por causas naturales ó artificiales tales como viento, ruidos, golpes o impactos, tráfico, etc.

Las microtrepidaciones pueden ser medidas mediante instrumentos suficientemente sensibles. Para este trabajo se utilizaron transductores de velocidad; estos son dispositivos que dan una diferencia de potencial (voltaje) proporcional a la velocidad absoluta. Se utilizaron simultáneamente tres transductores, orientados de modo tal que se obtuvieron dos componentes horizontales ortogonales y la componente vertical. Las señales analógicas de los transductores fueron convertidas a información digital, a intervalos discretos, y esta fue almacenada en una computadora para su posterior procesamiento.

Si se efectúa una descomposición de las microtrepidaciones a nivel del terreno en sus componentes armónicas, se observa que -salvo situaciones excepcionales- el orden de magnitud de las amplitudes a distintas frecuencias es similar. Las microtrepidaciones a nivel del terreno pueden ser considerados como un ruido blanco (white noise) . La estructura actúa como un filtro, que deamplifica algunas frecuencias y amplifica notoriamente otras componentes, aquellas que corresponden a las frecuencias naturales.

La observación de las amplitudes de las Transformadas de Fourier de las velocidades permite identificar la frecuencia (o el período) fundamental.

Puede anotarse que las mediciones podrían también ser preferentemente hechas con acelerómetros, pero se prefieren transductores de velocidad por razones de

simplicidad y economía . No se utilizan transductores de desplazamiento (LVDT) porque estos requerirían un punto de referencia fijo.

Tratándose de medir el período fundamental, las mediciones deben ser hechas en la parte superior del edificio.

EQUIPO UTILIZADO

Para el presente ensayo dinámico de determinación de las frecuencias naturales de una estructura, fueron utilizados los siguientes equipos del Laboratorio de Estructuras del Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

- Un equipo de Microtrepidaciones marca Tokyo Sokushin Co. Ltd. Japan, que incluye acondicionadores de señal, filtros pasa-bajo y convertidores A/D.
- Tres transductores de Seudo-Velocidad de 10 kines (10 cm/s) marca Tokyo Sokushin Co. tipo VSE-15-D y sus respectivos cables de conexión.
- Una Computadora Personal Notebook NEC PC-9801.
- Un programa de adquisición SPC-35 que almacena las señales analógicas de los transductores y las convierte en información digital.

PROCEDIMIENTO

Se instalaron los sensores de seudo-velocidad en la parte superior de la edificación siguiendo las tres direcciones principales de esta, dejándose estabilizar eléctricamente por espacio de 2 a 3 minutos aproximadamente.

Es conveniente realizar estas mediciones en instantes en que existen menos agentes externos que puedan introducir vibraciones en una banda estrecha de

frecuencias, a fin de que la "entrada" al sistema tenga componentes de amplitud más o menos uniforme.

Luego se procedió a registrar las velocidades durante para un tiempo determinado. Se tomó en cada registro para hacer la transformada discreta un total de 1024 puntos con una frecuencia de muestreo de 1000 Hertz lo que corresponde a un intervalo entre mediciones, Δt , de 0.001 s , los cuales fueron almacenados por un programa efectuado para este fin (SPC-35). Finalmente se procesaron los resultados mediante la Transformada de Fourier para obtener la frecuencia predominante del registro para cada dirección , obteniéndose los períodos respectivos.

LA TRANSFORMADA DE FOURIER

La Transformada de Fourier es una de las mas valiosas herramientas matemáticas desarrolladas, sin embargo, aun con las velocidades de cálculo que pueden alcanzarse con las computadoras modernas, la transformada Discreta de Fourier tiene pocas aplicaciones debido a la exorbitante tiempo de máquina que se requiere para su estimación. Es hasta 1965, aparejado con el acelerado desarrollo de las computadoras, que se publica un algoritmo capaz de calcular la transformada discreta de Fourier de manera eficiente y rápida (Cooley and Tukey, 1965), revolucionando el concepto de análisis de series de tiempo.

Con el desarrollo del algoritmo para el cálculo de la transformada de Fourier (FFT), muchas disciplinas que requieren análisis de datos se han visto beneficiadas. Su aplicabilidad incluye procesos que involucren una variable que sea función de tiempo.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las mediciones hechas en los edificios de 4 pisos de Santa Rosa y de Tupac Amaru se presentan en gráficos tomados de las señales captadas por la computadora y se presentan en el Anexo C.

Se hacen luego gráficos de las señales para cada dirección y para cada edificación. La frecuencia fundamental (f) de cada estructura se lee directamente en la escala de abcisas (Hertz) indicada por el pico máximo de los gráficos 4.3 y 4.4 para Santa Rosa y 4.5 y 4.6 para Tupac Amaru, hallándose luego los períodos para cada dirección : $T = 1 / f$ (s)

A- SANTA ROSA

Dirección X (fig. 4.3) $f = 9.28$ $T_x = 0.108$ s

Dirección Y (fig. 4.4) $f = 8.32$ $T_y = 0.120$ s

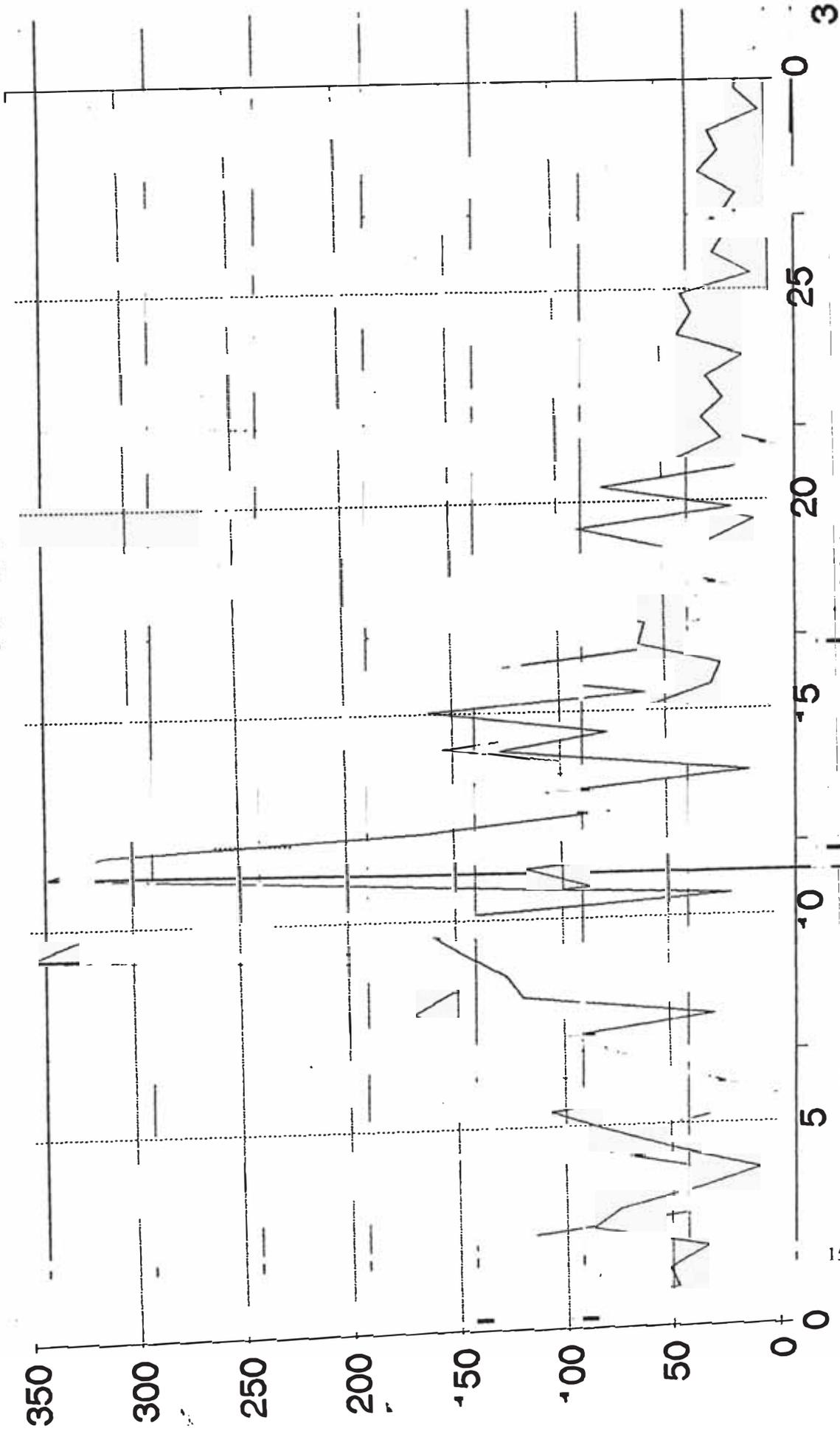
B- TUPAC AMARU

Dirección X (fig. 4.5) $f = 9.31$ $T_x = 0.107$ s

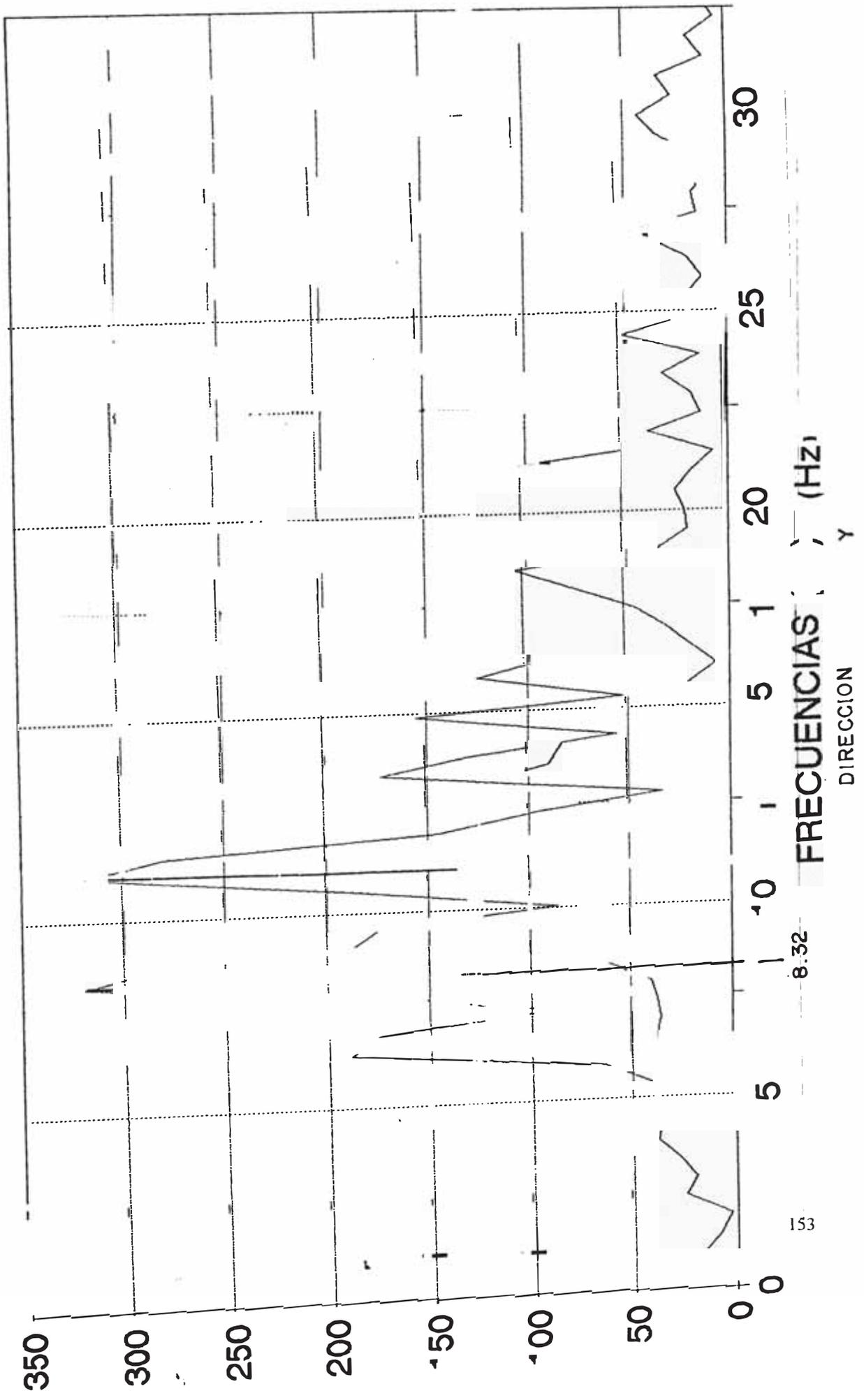
Dirección Y (fig. 4.6) $f = 7.33$ $T_y = 0.136$ s

De los resultados obtenidos se puede observar que en ambas edificaciones el período fundamental es el que corresponde a la de la dirección Y puesto que esa es la dirección más flexible.

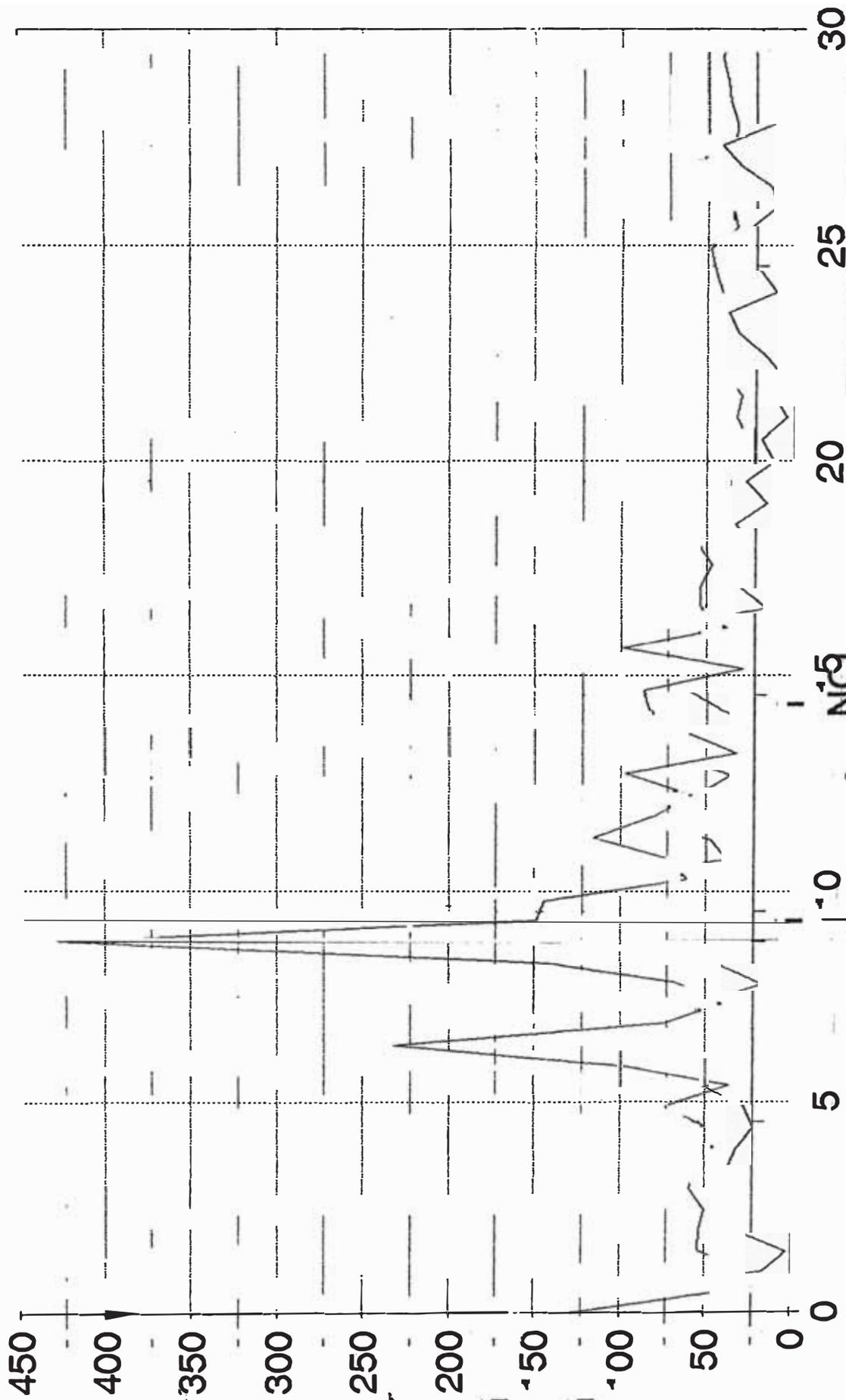
C-12
CONJ. HAB. S N A ROSA
A PA



CH:
CONJ. HAB. SANTA ROSA

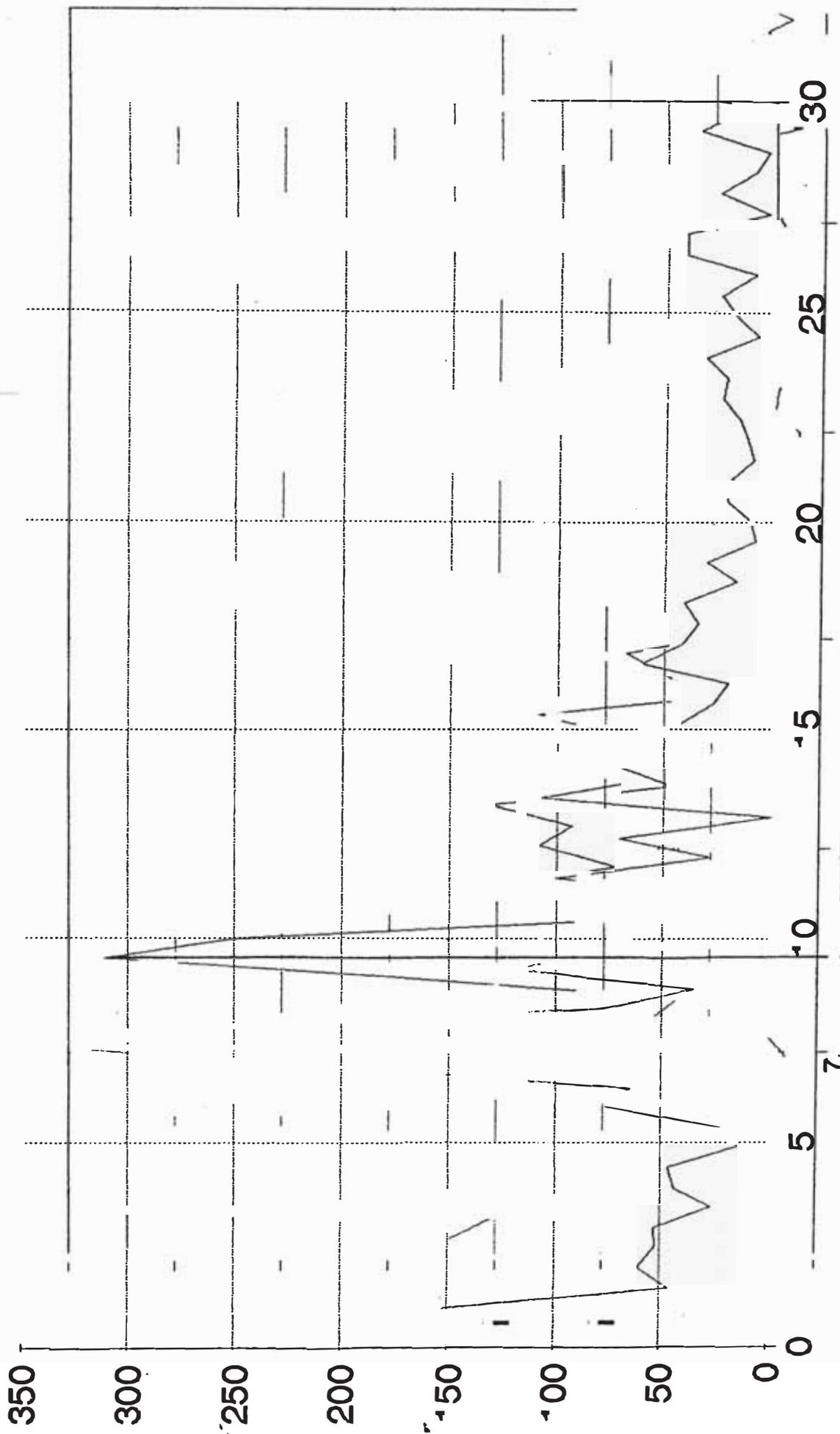


CONJ. HABI TUPAC AMARU



9:31 FREQ. ANAL. (Hz) DIRECCION X

CH1
CONJ. HAB. TUPAC AMARU



4.4 - Análisis de los resultados.

Al observar los resultados obtenidos, se aprecia que hay diferencias en los períodos de vibración calculados tanto por métodos teóricos como con mediciones reales, como se puede ver en el siguiente cuadro

Tabla 4.1 - Comparación de Períodos obtenidos T (seg)

| Edificio : | SANTA | ROSA . | TUPAC | AMARU |
|---------------|-------|--------|-------|-------|
| | T_x | T_y | T_x | T_y |
| RNC | 0.093 | 0.101 | 0.099 | 0.152 |
| UBC | 0.154 | 0.162 | 0.221 | 0.254 |
| V. FLEXION | 0.099 | 0.120 | 0.154 | 0.183 |
| V. CORTE | 0.094 | 0.098 | 0.086 | 0.094 |
| A. DINÁMICO | 0.183 | 0.187 | 0.227 | 0.245 |
| MEDICION EXP. | 0.108 | 0.120 | 0.107 | 0.136 |

Los resultados de los períodos obtenidos de mediciones reales son similares a los del Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) ; en cambio con estas mediciones, los períodos son menores a los obtenidos en el análisis dinámico, es decir , los resultados indican que las estructuras de albañilería son más rígidas en realidad.

Esto se puede explicar porque al hacer el análisis dinámico no se consideran algunos factores que aportan rigidez . Estos factores no son considerados en el análisis porque en la construcción no se tiene un verdadero control de estas condiciones que garanticen el comportamiento estructural que se ha supuesto en el análisis..

Algunos de estos factores que hacen a la estructura más rígida son descritos en las condiciones siguientes :

| <u>Condición</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--|
| I | Inclusión en el análisis de dinteles y vigas |
| II | Inclusión en el análisis de vigas y dinteles, pero considerando las aberturas de los vanos de las ventanas |
| III | Inclusión de vigas y dinteles, considerando además la influencia del tarrajeo (mortero de 1.5 cm de espesor). |
| IV | Inclusión en los muros de albañilería una porción de muros en la dirección perpendicular (alas de ancho 2 veces el espesor de los muros a cada lado). |
| V | Inclusión de vigas, dinteles, tarrajeo y alas de muros perpendiculares |
| VI | Inclusión de vigas, dinteles, tarrajeo y alas de muros perpendiculares, pero considerando un Módulo de Elasticidad de la albañilería mayor ($E_a=5 \times 10^5 \text{ cm}^2$). |

A continuación se presentan los resultados del análisis dinámico seudotridimensional en el edificio del conjunto habitacional Tupac Amaru, tomando en consideración las condiciones descritas anteriormente que son algunos de los factores que no se toman en cuenta generalmente en un análisis dinámico de estructuras de albañilería normal.

Se presentan los períodos en la dirección Y (que es el período fundamental), el período en la dirección X y los cortantes en la base en la dirección X e Y cuando el sismo viene en la dirección X

Tabla 4.2 - Resultados del Análisis Dinámico en el edificio Tupac Amaru en las diferentes condiciones .

| Condición | Períodos (s) | | Cortantes en la base (Tn) | |
|-----------|--------------|-------|---------------------------|-------|
| | T_x | T_y | V_x | V_y |
| Normal | 0.227 | 0.245 | 232.0 | 7.93 |
| I | 0.213 | 0.232 | 255.9 | 5.06 |
| II | 0.241 | 0.255 | 254.7 | 5.96 |
| III | 0.154 | 0.172 | 245.2 | 4.61 |
| IV | 0.190 | 0.195 | 262.2 | 7.75 |
| V | 0.159 | 0.172 | 255.6 | 5.69 |
| VI | 0.115 | 0.124 | 255.8 | 5.89 |

Se puede observar que en la condición VI que es incluyendo vigas, dinteles, tarrajeo, alas de muros en dirección perpendicular y con un módulo de elasticidad de la albañilería mayor, los períodos obtenidos del análisis seudo tridimensional ($T_x = 0.115$ s - $T_y = 0.124$ s) son similares a los obtenidos de las mediciones de microtrepidaciones efectuadas ($T_x = 107$ s - $T_y = 0.136$ s).

4.5 - Conclusiones

- En los ensayos realizados en edificaciones reales de albañilería para medir los períodos de vibración natural (Ensayo de Microtrepidaciones), podemos concluir que se obtienen períodos menores en edificios reales que los períodos calculados a través de los análisis sísmicos (análisis dinámico).
- Esto se puede explicar porque existen factores que hacen más rígido al edificio de albañilería en realidad, por lo que, los períodos de vibración natural disminuyen. Estos factores pueden ser debidos a :
 - Influencia de vigas y dinteles de concreto.
 - Influencia del tarrajeo con mortero.
 - Influencia de los muros perpendiculares a los muros longitudinales.
 - Mayor módulo de elasticidad de albañilería (E_m) que el tomado para el análisis dinámico.
- Generalmente éstos factores no se consideran cuando se hace un análisis estructural porque pueden, en la parte constructiva, hacerse mal o simplemente no hacerse (tarrajeo, conexión con muros perpendiculares, dinteles, etc.). Es por eso que cuando se hace un análisis estructural no se debe considerar estos factores para que den resultados un poco más conservadores que garanticen un buen diseño.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CORTANTES

- Cuando se realiza un análisis estático en una estructura de albañilería, se obtienen fuerzas cortantes en la base a nivel global más conservadores que los obtenidos en un análisis dinámico. Esto se explica porque en un análisis estático se supone que los valores máximos que se da en cada modo son simultáneos. Estas diferencias son menores cuando la estructura es más rígida, que es el caso de una estructura de albañilería; por lo tanto el análisis estático resulta apropiado para este tipo de estructura.
- Las fuerzas cortantes a nivel local obtenidas de análisis estáticos con modelos de acoplamiento cercano y con modelos de acoplamiento lejano son las mismas cuando todos los muros son de igual rigidez.. En cambio, cuando los muros tienen distinta rigidez los distintos valores de las componentes varían de muro a muro. El acoplamiento es más significativo para los muros más rígidos.
- Para estructuras de albañilería como las analizadas, aún cuando se observan diferencias entre los resultados obtenidos con modelos de acoplamiento lejano y con modelos de acoplamiento cercano, debe reconocerse que el acoplamiento no es muy importante.

- Esto se pone en evidencia, por ejemplo, en la poca influencia que tienen cambios en la rigidez del último nivel sobre los resultados obtenidos para el cortante en la base. Alteraciones tales como un cambio de altura de un entrepiso no cambian significativamente los resultados.
- En cambio cuando se consideran modificaciones que alteran significativamente la rigidez torsional, si ocurren importantes cambios en el comportamiento.

DESPLAZAMIENTOS

- Los desplazamientos son considerablemente mayores cuando se hace un análisis con modelos de acoplamiento lejano que cuando se hace un análisis con modelos de acoplamiento cercano porque el primero considera además del desplazamiento por traslación, el desplazamiento por efecto de giro de los muros.
- Pero como se dijo anteriormente, lo que se requiere cuantificar es la deformación sobre los muros; los desplazamiento de cuerpo rígido no son importantes. Por lo tanto un análisis con modelos de acoplamiento cercano son en este caso más útiles.

PERIODOS

- En los ensayos realizados en edificaciones reales de albañilería para medir los períodos de vibración natural, podemos concluir que se obtienen períodos menores en edificios reales que los períodos calculados a través del análisis dinámico.

- Esto se puede explicar porque existen factores que hacen más rígido al edificio de albañilería en realidad, por lo que, los períodos de vibración natural disminuyen.
- Estos factores pueden ser debidos a :
 - La influencia de vigas y dinteles de concreto.
 - La influencia del tarrajeo con mortero.
 - La influencia de los muros perpendiculares a los muros longitudinales.
 - El módulo de elasticidad de albañilería (E_m) tomado para el análisis dinámico es menor que el módulo real.
- Estos factores no se consideran cuando se hace un análisis estructural porque en el proceso constructivo pueden hacerse mal o simplemente no hacerse como por ejemplo el tarrajeo, conexión con muros perpendiculares, dinteles, etc. Es por eso que cuando se hace un análisis estructural no se deberían considerar estos factores para que los resultados sean un poco más conservadores que garanticen un buen diseño

BIBLIOGRAFIA

- 1.- GALLEGOS, Hector . - "Albañilería Estructural" . Libro 3 de la Colección del Ingeniero Civil. Colegio de Ingenios del Perú . Segunda Edición . Lima . 1990
- 2.- SCALETTI Hugo y PIQUE DEL POZO Javier - "Análisis Sísmico de Edificios" . Libro 9 de la Colección del Ingeniero Civil . Colegio de Ingenieros del Perú . Primera Edición . Lima .1991
- 3.- SAN BARTOLOME Angel - "Albañilería Confinada" . Libro 4 de la Colección del Ingeniero Civil. Colegio de Ingenieros del Perú . Primera Edición . Lima . 1990.
- 4.- SAHLIN Sven. - "Structural Masonry " . Prentice Hall, Inc. New Jersey . USA . 1971.
- 5.- FLORES T. Luis E. - "Análisis Pseudo-tridimensional Desacoplado y Diseño de Edificaciones Sismo Resistentes de Albañilería Armada asistido por Ordenador". Tesis Universidad Ricardo Palma . Lima . 1992.
- 6.- GIBU Patricia , SERIDA César. - "Muros de Albañilería Confinada sujetos a carga lateral" . Tesis Universidad Nacional de Ingeniería . Lima . 1993.

- 7.- AMRHEIN James E. - "Reinforced Masonry Engineering Handbook. Clay and Concrete Masonry" . Segunda Edición . USA . 1973.
- 8.- WILSON Edward - "CAL 86 . Computer Assisted Learning of Structural Analysis" . University of California Berkeley . USA . 1986.
- 9.- RIVERA Julio , ZAVALA Marco - "Comparación de Métodos para efectuar el análisis sísmico de construcciones de albañilería" . Lima . 1991.
- 10.- MATOS Carlos - "Análisis Matricial de Estructuras de Albañilería" . Boletín 5 de Ciclo de Conferencias. American Concrete Institute . UNI . Lima . 1991.
- 11.- MATOS C., MORALES R.y TORREALVA D. "Análisis y Diseño de Construcciones de Albañilería" . Boletín de Ciclo de Conferencias. ACI. Universidad Nacional de Ingeniería . Lima . 1993.
- 12.- GALLEGOS H., CASABONNE C. y SAN BARTOLOME A. "Albañilería Estructural Armada y Confinada . Libro del Curso de Actualización. American Concrete Institute . Capítulo Peruano . Lima . 1989
- 13.- CASABONNE Carlos y QUESADA Gaby - "Albañilería Estructural" - Libro del Curso de Actualización . Promoción 1991-I . Universidad Nacional de Ingeniería . Lima . 1991.

- 14.- ININV - "Norma E-070 de Albañilería" . Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda . Lima . 1982.
- 15.- INTERNATIONAL CONFERENCE OF BUILDING OFFICIALS
"Uniform Building Code". Whittier, California, 1991.
- 16.- CAPECO -"Reglamento Nacional de Construcciones" . Volumen 11
Décima Edición . Lima, 1994.
- 17.- REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES - "Normas de
Diseño Sismo Resistentes" - OIN . Ministerio de Vivienda y
Construcciones. Oficina de Investigación y Normalización . Lima , 1977.