

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1 Resultados del análisis de los daños estructurales y recomendaciones

Se revisaron los daños estructurales debidos al sismo del 15 de junio de 1999 de un total de 16 construcciones ubicadas alrededor del Estado de Puebla. Solo una de ellas está estructurada a partir de mampostería reforzada (véase inciso 5.1), misma que pertenece al grupo B. Las quince restantes están estructuradas a partir de elementos de concreto reforzado formando, en su mayoría, marcos en dos direcciones. Entre estas últimas se analizó un puente vehicular y las restantes son para uso exclusivo de personas. Tres de estas últimas son conjuntos habitacionales (grupo B); cuatro hospitales (grupo A); dos son edificios del grupo B destinados a oficinas y archivos; dos son escuelas secundarias (grupo A); y dos más son establecimientos comerciales (grupo B).

Tras la ocurrencia de eventos sísmicos pasados, la experiencia adquirida sobre el comportamiento estructural ha demostrado que las edificaciones bien detalladas y concebidas estructuralmente tienen un comportamiento adecuado aun cuando no hayan sido objeto de laboriosos cálculos ni hayan seguido los reglamentos al pie de la letra.

A continuación se enlistan las causas más comunes que dieron origen a los distintos daños encontrados en el análisis del capítulo V. Éstas se enlistan en orden descendente de acuerdo a la frecuencia con que se encontraron. Después de citar la causa, se citan las edificaciones

en las que se presentó ésta, el tipo de falla o daño que provocó y la recomendación pertinente que de ello se derive.

Las fallas se debieron principalmente a las siguientes causas:

- a) Asimetría en planta.
- b) Variación brusca de la rigidez en la altura de los edificios.
- c) Diseño y habilitado deficiente de refuerzo transversal en columnas.
- d) Golpeteo entre edificios.
- e) Escasez de muros en una o dos direcciones y elementos resistentes.
- f) Restricción a la deformación natural de columnas debido a elementos no estructurales.
- g) Deficiente dirección y/o supervisión de obra.
- h) Falta de refuerzo horizontal en muros y/o deficiente anclaje de elementos y sus componentes.

La forma de la edificación tanto en planta como en altura y la distribución y el arreglo de los elementos estructurales, son factores determinantes para la selección y el diseño de una adecuada configuración estructural de las edificaciones. [Serrano, L.R. (2001)]

6.1.1 Asimetría en planta

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- Conjunto habitacional 3 Oriente

- Facultad de Medicina de la BUAP
- Hospital Universitario
- Hospital de San Alejandro
- Edificio de la esquina 3 Poniente y 5 Sur
- Unidad habitacional Infonavit (U.H.I.) Amalucan
- U.H.I. Atlixco

La asimetría en planta provoca falla por vibración torsional causada por la falta de coincidencia, en planta, del centro de masas con el centro de rigidez (véase inciso 4.5).

Una de las características mas relevantes de los edificios para el comportamiento sísmico es la forma del edificio en planta. La asimetría de la planta de un edificio propicia una respuesta sísmica indeseable pues tiende a provocarle vibraciones torsionales. En la figura 6.1.1.1 se ilustran formas asimétricas en planta indeseables ya que producen vibración torsional.



Figura 6.1.1.1 Formas asimétricas en planta indeseables [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

Es conveniente eliminar o minimizar, en lo posible, la vibración torsional distribuyendo los elementos resistentes de tal forma que el baricentro de masa coincida con el centro de torsión. Otra alternativa es subdividir el edificio en cuerpos independientes y regulares

mediante juntas de construcción, o bien, pueden también minimizarse mediante elementos estructurales exteriores que ligen las partes del edificio volviéndolo así más simétrico. Estas tres formas de disminuir los efectos de la asimetría en planta de los edificios se ilustran en la figura 6.1.1.2 [Bazán, E., Meli, R. (2002)].

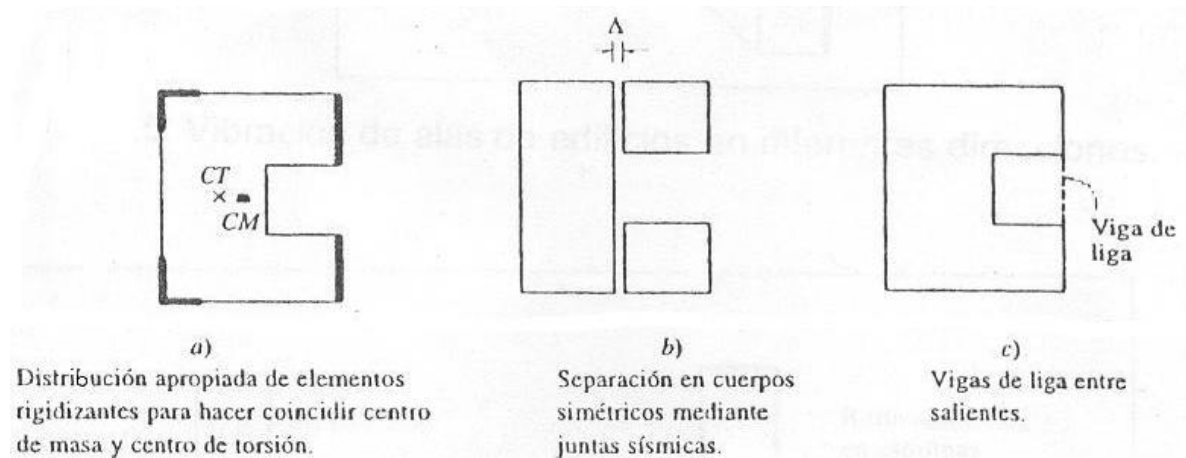


Figura 6.1.1.2 Posibles Soluciones para reducir los problemas de plantas asimétricas [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

También debe evitarse que el edificio tenga alas muy alargadas (Figura 6.1.1.3) ya que éstas tienden a vibrar en diferentes direcciones (Figura 6.1.1.4) generando grandes concentraciones de esfuerzos en las esquinas interiores de la planta. El remedio para este tipo de constitución puede ser el de dividir la planta en cuerpos independientes y cortos o bien, proporcionar más rigidez a los extremos de las alas y reforzar cuidadosamente las esquinas interiores como se muestra en la figura 6.1.1.5 [Serrano, L.R. (2001)].

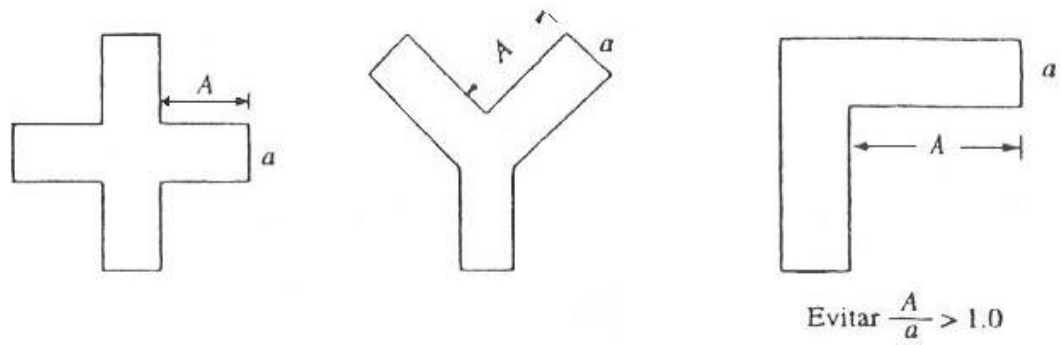


Figura 6.1.1.3 Planta con alas muy largas [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

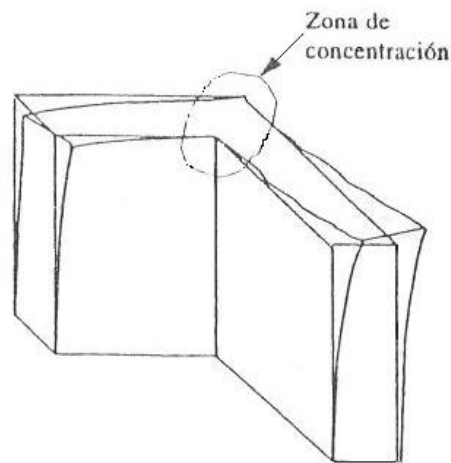


Figura 6.1.1.4 Forma de vibrar en diferentes direcciones de las largas alas de las plantas [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

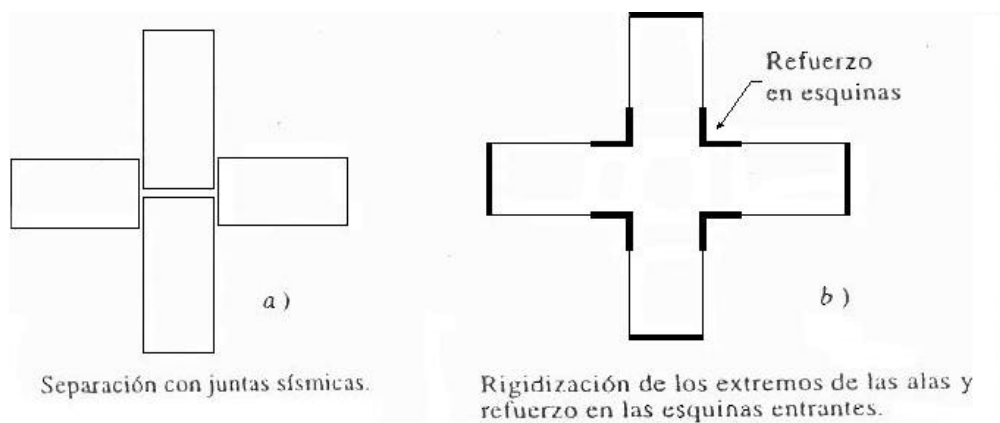


Figura 6.1.1.5 Soluciones para edificios con alas muy largas [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

Así mismo, la planta de los edificios no debe de ser muy larga ya que, ante la acción del movimiento del terreno, los movimientos de su base difieren de un extremo a otro (Figura 6.1.1.6 a). El problema principal es que se producen vibraciones importantes en planta por la flexibilidad del sistema de piso (Figura 6.1.1.6 b), mismas que incrementan sustancialmente las sollicitaciones en la parte central del edificio [Serrano, L.R. (2001)].

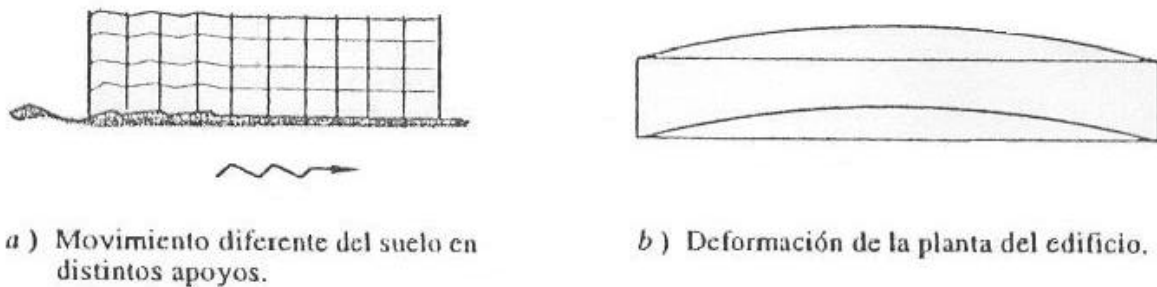


Figura 6.1.1.6 Problemas en edificios muy alargados en planta [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

Por lo tanto, deben evitarse situaciones como las mostradas en la figura 6.1.1.7 y, de no ser posible, remediar conforme a las alternativas de la figura 6.1.1.8.

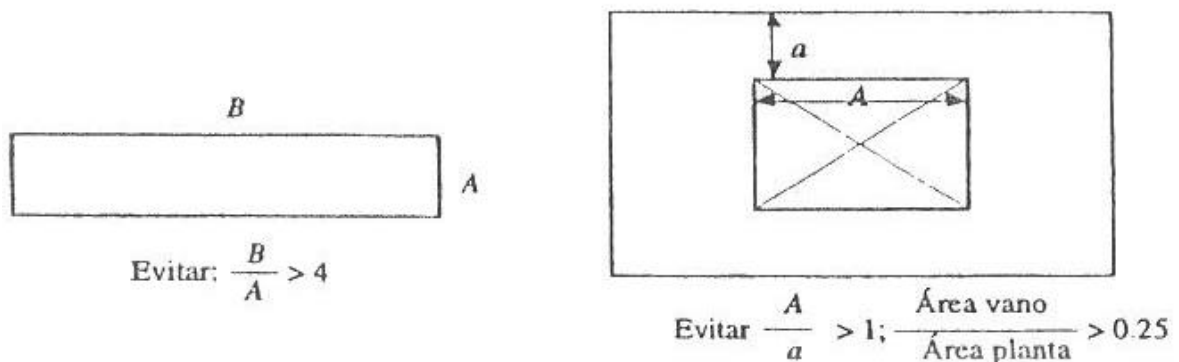


Figura 6.1.1.7 Límites recomendables para los lados de la planta de un edificio [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

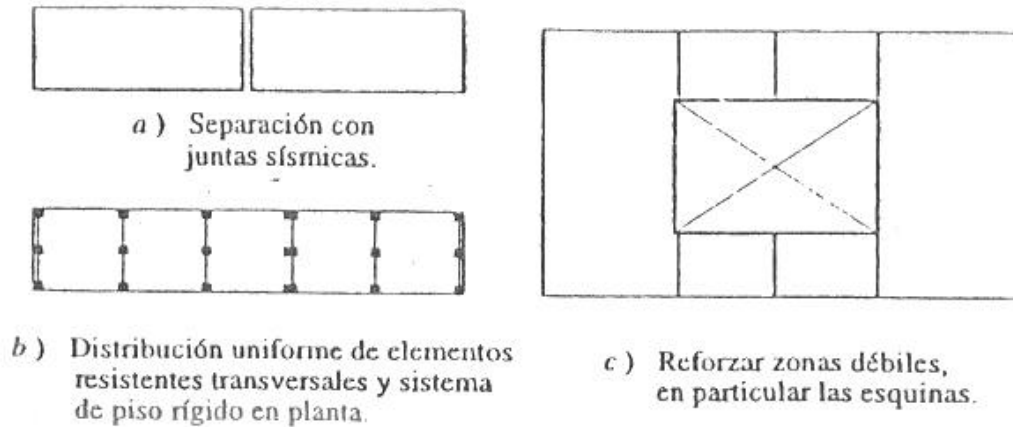


Figura 6.1.1.8 Posibles remedios para plantas muy alargadas [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

Las plantas con esquinas entrantes son indeseables (Figura 6.1.1.9) ya que pueden producir concentraciones de esfuerzos en las esquinas entrantes, por lo que deben evitarse procurando que la planta del edificio sea lo más compacta posible [Serrano, L.R. (2001)].

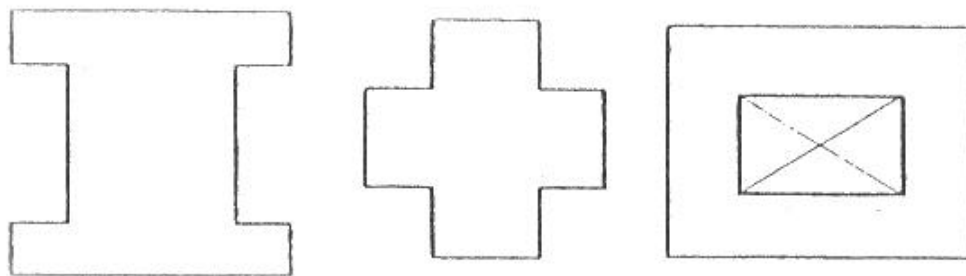


Figura 6.1.1.9 Plantas con esquinas entrantes [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS) establecen, en el inciso sexto, los requisitos necesarios para que, a una estructura, se le pueda considerar como regular. El primer párrafo reza así: “La planta del edificio es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes.” [NTCDS. (2002)]

6.1.2 Variación brusca de la rigidez en la altura de los edificios

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- U.H.I. Anaxa
- Conjunto habitacional 3 Oriente
- Hospital Universitario, U.H.I. Amalucan
- Cine y sanatorio Reforma
- Establecimiento Benito Juárez

La discontinuidad de elementos rigidizantes o de rigidez en los entrepisos provoca falla por variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio (véase inciso 4.7).

Otra de las características más relevantes de los edificios para el comportamiento sísmico es la configuración a lo largo de su altura. Para evitar que se produzcan grandes concentraciones de esfuerzos en ciertos niveles del edificio, o amplificaciones de vibración en los pisos superiores, es necesario que en la elevación prevalezcan la sencillez, regularidad y simetría. Las reducciones bruscas en la parte superior del edificio, donde el cambio brusco de rigidez produce el fenómeno de chicoteo con una gran amplificación de vibración en la cúspide (Figura 6.1.2.1), son especialmente críticas e indeseables por lo que deben seguirse las precauciones que se sugieren en la figura 6.1.2.2, especialmente la del caso C para la rigidización de apéndices y estructuras escalonadas [Serrano, L.R. (2001)].

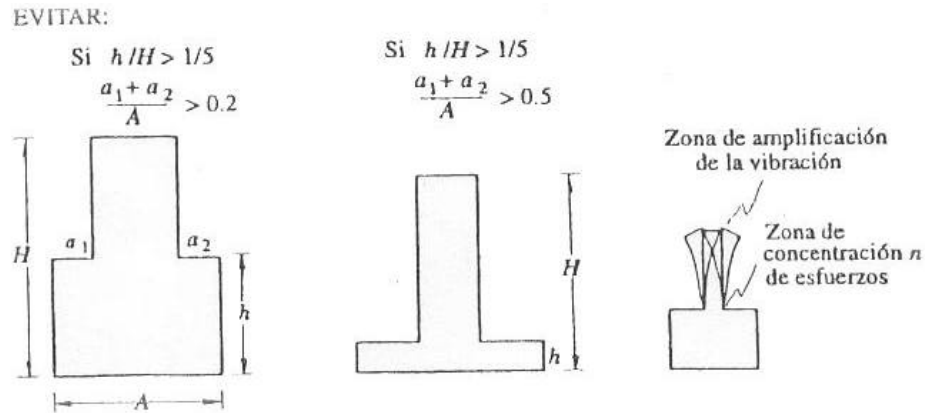


Figura 6.1.2.1 Reducciones bruscas indeseables de las dimensiones de la planta en niveles superiores de edificios [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

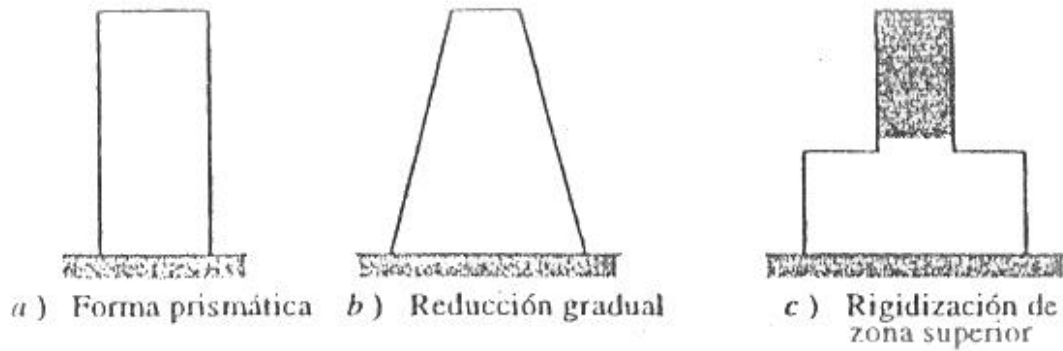


Figura 6.1.2.2 Posibles soluciones a la reducción en elevación [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

La configuración conocida como piso débil o flexible (Figura 6.1.2.3) es otra también indeseable, principalmente para aquellos edificios que se encuentran desplantados en zonas sísmicas. Ésta es la causa más frecuente de irregularidad en elevación del sistema estructural la cual produce, por una parte, una discontinuidad marcada en rigideces pero, sobre todo, un piso más débil que el resto y en el que se concentrará la disipación inelástica de energía tras la ocurrencia de un sismo de gran intensidad. Esta situación debe evitarse ya que, debido a las altas cargas axiales, no se cuenta con mucha ductilidad y se acentuarán los efectos de segundo orden [Bazán, E., Meli, R. (2002)].

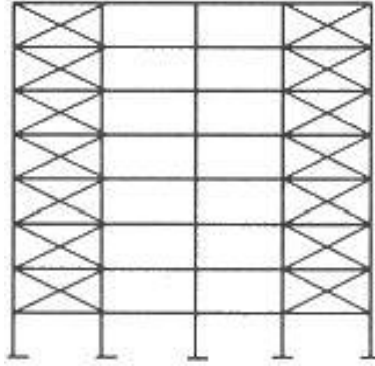


Figura 6.1.2.3 Planta baja débil o flexible [Bazán, E., Meli, R. (2002)]

El caso más notable por lo que a este tipo de falla se refiere, se presentó en los edificios del conjunto habitacional 3 oriente. Como se observó, la rigidización de los tres pisos superiores al de planta baja mediante muros de mampostería condujo de manera determinante y típica a la falla por planta baja débil.

6.1.3 Diseño y habilitado deficiente de refuerzo transversal en columnas

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- Conjunto habitacional 3 Oriente
- Facultad de Medicina de la BUAP
- Hospital de San Alejandro
- Escuela Secundaria Melchor Ocampo

Los núcleos de las columnas de concreto mal confinados por el refuerzo transversal conducen a falla frágil de cortante y tensión diagonal en el elemento (véase inciso 4.2).

Otra falla relevante que se presentó y fue muy común consiste en la falla frágil por cortante en columnas, ocasionada por movimientos torsionales de la estructura debido a la asimetría en planta de los edificios. El caso más relevante fue el conjunto habitacional de la calle 3 oriente donde la planta de los edificios que lo conforman semeja una hélice. Este tipo de configuración conduce, al comenzar el movimiento del terreno, a giros causados por la falta de coincidencia del centro de masas con el centro de rigidez, el cual incrementa las fuerzas laterales que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte. Si se hubiesen tomado en cuenta estos movimientos torsionales de la estructura para el diseño del armado de las columnas, aunque su sección hubiese aumentado un poco, éstas no hubieran fallado de tal forma, pues el confinamiento del núcleo de concreto habría estado debidamente reforzado y la absorción de energía habría sido muy favorable en el comportamiento sísmico del inmueble.

También se observaron mecanismos de fallas indeseables de trabe fuerte y columna débil, generando rotaciones plásticas en las columnas que atentan, en gran medida, a la estabilidad de la estructura. Estas fallas se debieron a que el refuerzo de la columna es mucho más débil que el de la viga y a que los traslapes del acero de refuerzo longitudinal no fueron debidamente anclados formando, en esas zonas, rotulas plásticas debido al deslizamiento entre las varillas.

6.1.4 Golpeteo entre edificios.

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- Hospital de San Alejandro

- Hospital de San José
- Cine y sanatorio Reforma
- Puente de la carretera Puebla- Palmar de Bravo

El movimiento de las edificaciones durante del sismo provoca choques entre aquellas que no están debidamente separadas o que no están equipadas con dispositivos de absorción de energía y, en la mayoría de los casos, conduce a fallas por golpeteo entre edificios (véase inciso 4.8).

Encontramos también fallas ocasionadas por el golpeteo entre los distintos cuerpos que conforman algunas edificaciones. Es muy importante tomar en cuenta que los edificios, en el momento del sismo, sufren deformaciones y desplazamientos directamente proporcionales a la magnitud del movimiento y que, si estos no están debidamente separados unos de otros, se golpean entre ellos fracturando los materiales y, consecuentemente, desmeritando su comportamiento y resistencia haciendo a la estructura vulnerable al colapso. Hay recomendaciones que proponen una separación mínima entre cuerpos de un centésimo de la altura del punto más alto de posible contacto. Las Normas del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal son más estrictas cuando las edificaciones están desplantadas sobre suelos blandos, en donde la rotación de la base incrementa significativamente el desplazamiento de la punta del edificio (Figura 6.1.4.1). Por ello, es necesario rigidizar los edificios para limitar sus desplazamientos, ligarlos para que vibren en fase o colocar dispositivos de amortiguamiento entre ellos. [Bazan/Meli (2002)]

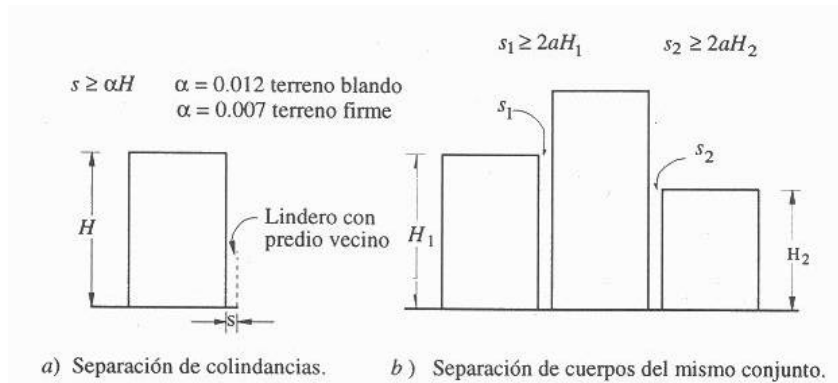


Figura 6.1.4.1 Separación entre edificios adyacentes para evitar choques [Bazán/Meli(2002)]

Para garantizar una separación suficiente, y evitar el golpeteo entre edificios, o bien, entre cuerpos de una misma edificación, es necesario apegarse a lo establecido en los Artículos 177 y 211 del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (RCDF).

6.1.5 Escasez de muros en una o dos direcciones y elementos resistentes

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- U.H.I. Anaxa
- U.H.I. Amalucan
- U.H.I. Atlixco
- Establecimiento Benito Juárez

A veces, la concepción y diseño apresurado de soluciones espaciales en las edificaciones conducen a la omisión de ciertos aspectos que, tras la ocurrencia de un sismo intenso, conducen a fallas por inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos debido a la

escasez de elementos tales como columnas y muros (véase inciso 4.1) y/o a fallas de tipo frágil de muros de cortante, sin o con aberturas, solos o acoplados (véase inciso 4.4).

Se encontraron fallas por inadecuada resistencia al cortante en muros debido a la escasez de éstos en alguna de las dos direcciones. Se detectaron deficiencias de liga entre los muros principales con los divisorios, donde estos últimos debieron funcionar como puntales entre los muros de la dirección perpendicular. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Mampostería establecen que, cuando los muros transversales lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura.

Se recomienda que en diseños futuros de este tipo de sistema estructural se enfatice en el detallado minucioso de las conexiones o ligas entre los muros en ambas direcciones así como la supervisión necesaria para su correcta realización. También, es necesario cuidar que el colado del concreto, en los huecos del tabique extruido, se realice debidamente cuidando no desmeritar la resistencia del mismo.

6.1.6 Restricción a la deformación natural de columnas debido a elementos no estructurales

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- Conjunto habitacional 3 Oriente
- Hospital de Traumatología y Ortopedia

- Escuela Secundaria Melchor Ocampo

La interactividad de los elementos estructurales verticales y los no estructurales dentro de las edificaciones en el momento del sismo conduce, la mayoría de las veces, a fallas de tipo frágil de cortante en columnas acortadas por el efecto restrictivo a su deformación natural causadas por elementos no estructurales (véase inciso 4.10).

En los conjuntos habitacionales analizados destacan fallas por cortante en columnas causadas por la acumulación de esfuerzos en ellas debidos a efectos restrictivos a su deformación natural, generados por elementos no estructurales que las acortan. Éste tipo de falla es muy grave en cualquier edificación ya que inhabilita a los elementos principales de soporte y estabilidad, es decir, las columnas. Es necesario, entonces, un análisis riguroso del diseño de las columnas después de adicionar a la estructura aquellos elementos no estructurales que restringen las deformaciones naturales de estos elementos en el momento de un sismo, o bien, dejar una separación suficiente entre estos elementos.

Es recomendable que se tomen en cuenta las posibles deformaciones máximas de las columnas; para fines de cálculo debe considerarse la separación mínima suficiente entre estos elementos y los no estructurales como son muros o muretes que no rellenan los marcos completamente, tales como antepechos y pretilas de entepiso.

6.1.7 Deficiente dirección y/o supervisión de obra

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- U.H.I. Atlixco
- U.H.I. Anaxa
- Escuela Secundaria Gabino Barreda
- Escuela Secundaria Melchor Ocampo
- Puente de la carretera Puebla- Palmar de Bravo
- Cine y sanatorio Reforma

La detección temprana de anomalías constructivas se amerita a la supervisión adecuada de una obra en proceso y puede llegar a evitar fallas por inadecuada resistencia al cortante de los entresijos debido a la escasez de elementos tales como columnas y muros (véase inciso 4.1) o falla frágil de cortante y tensión diagonal en columnas o en vigas (véase inciso 4.2) y falta de recubrimiento en los elementos de soporte.

En ocasiones, una mala dirección o supervisión de obra ocasiona la presencia fallas en la vida útil de las edificaciones. Las anomalías más frecuentes en las construcciones no se deben a la responsabilidad de los empleados de obra. Cuando a una construcción no se le dota de los elementos necesarios y suficientes para garantizar su estabilidad, como es el caso de la ausencia o escasez de elementos de soporte tales como castillos, columnas y muros, o a la falta de recubrimiento en los elementos, no se puede esperar un buen comportamiento ante las sollicitaciones de un sismo intenso. El Artículo 43 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) establece que es obligación del Director Responsable de Obra (DRO): “Dirigir y vigilar la obra asegurándose de que tanto el proyecto, como la ejecución de la misma, cumplan con lo establecido en los ordenamientos

y demás disposiciones...” El Director Responsable de Obra deberá contar con los corresponsables a que se refiere el Artículo 44 de ese Reglamento. El corresponsable es aquella persona que cuenta con los conocimientos técnicos adecuados para responder en forma solidaria con el DRO, en todos los aspectos, de las obras en las que otorgue su responsiva, relativos a la seguridad estructural, diseño urbano y arquitectónico e instalaciones, según sea el caso. El corresponsable de seguridad estructural deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Artículo 46 y sus obligaciones se describen en el Artículo 47 del RCDF y hacemos énfasis en los incisos ‘d’ y ‘e’ que a la letra dicen: “d) Vigilar que la construcción, durante el proceso de la obra, se apege estrictamente al proyecto estructural, y que tanto los procedimientos, como los materiales empleados, corresponden a lo especificado y a las normas de calidad del proyecto... y e) Notificar al DRO cualquier irregularidad durante el proceso de la obra, que pueda afectar la seguridad estructural de la misma, asentándose en el libro de bitácora...”

Para las estructuras de mampostería, las Normas Técnicas Complementarias del RCDF establecen que: “Deberá haber una supervisión continua en la obra que asegure que el refuerzo esté colocado de acuerdo a lo indicado en planos y que los huecos en que se aloja el refuerzo sean colados completamente.”

6.1.8 Falta de refuerzo horizontal en muros y/o deficiente anclaje de elementos y sus componentes

Las construcciones afectadas por esta causa fueron:

- U.H.I. Anaxa

- Hospital de Traumatología y Ortopedia

La concepción errónea del diseño estructural en cualquier edificación, como es la falta de refuerzo horizontal en muros y/o deficiente anclaje de elementos y sus componentes, puede provocar fallas de tipo frágil en muros de cortante, sin o con aberturas, solos o acoplados (véase inciso 4.4) y fallas por adherencia del bloque de unión en las conexiones debida al deslizamiento de las varillas ancladas (véase inciso 4.3).

El refuerzo horizontal debe ser continuo y sin traslape en la longitud del muro y anclado en sus extremos. Se deberán cumplir los mismos requisitos de anclaje que para concreto reforzado.

6.2 Conclusiones

La configuración estructural está regida, en buena parte, por el proyecto arquitectónico. En consecuencia, es esencial la interacción entre el responsable del proyecto arquitectónico y el del proyecto estructural, a través de la cual este último deba hacer consciente al primero de las mínimas necesidades de rigidez, resistencia y regularidad que requiere la estructura así como de las consecuencias que algunas decisiones arquitectónicas puedan traer en el comportamiento estructural.

Es necesario proporcionar a las edificaciones sistemas resistentes en dos direcciones ortogonales. “La configuración de los elementos estructurales debe permitir un flujo continuo, regular y eficiente de las fuerzas sísmicas...” [Bazan/Meli (2002)]. Evitar las amplificaciones de las vibraciones torsionales que se producen por irregularidades en la

distribución de masas o rigideces en planta o en elevación, procurando que el diseño estructural del edificio sea lo más posible sencillo, regular, simétrico y continuo. Los sistemas estructurales deben disponer de capacidad de deformación inelástica que les permitan disipar la energía inducida por sismo mediante elevado amortiguamiento inelástico y sin la presencia de fallas básicas locales y globales [Bazán/Meli (2002)].

Las exigencias y caprichos del dueño de los proyectos y la gran imaginación de los encargados del diseño arquitectónico, parecen carecer, la mayoría de las veces, de nociones de forma y función de las edificaciones diseñadas y de los aspectos principales y criterios de diseño sismo-resistente del RCDF, ya que no parecen estar conscientes del peligro que sus atrevidos diseños representan en zonas sísmicamente activas, dadas las causas descritas en este capítulo.

Es importante señalar que los daños ocurridos en las estructuras analizadas, como consecuencia del sismo, son ya conocidos desde hace aproximadamente 30 años. No obstante, algunas de las construcciones dañadas datan de un lapso menor a ese y presentaron deficiencias en su concepción estructural que pudieron haberse previsto y por ende, quizás, evitado fallas de consideración en las mismas.

En consecuencia, vale la pena subrayar que ante el conocimiento de ciertas deficiencias y concepciones inadecuadas en los proyectos arquitectónicos de edificaciones por construirse en zonas sísmicas, debe evitarse la configuración geométrica asimétrica tanto en planta como en elevación, la falta de elementos resistentes en ambas direcciones ortogonales, el acortamiento de columnas por elementos no estructurales, la estrecha separación entre

cuerpos de edificios, la configuración de piso débil, asegurando que sean aspectos que deben rechazarse determinadamente.

Además es conveniente intensificar los procesos de supervisión de obra y control de calidad en la ejecución de la misma, con el objeto de lograr un comportamiento sismorresistente adecuado.