CAPITULO III

CAPITULO III: METODOLOGIA ELABORADA POR SOLIMAN ET AL (1990).

3.1 GENERALIDADES.

La metodología que sirve como fundamento en esta investigación, fue propuesta en 1990 por Soliman, Elnashai y Sobiath, la cual permite determinar la vulnerabilidad, riesgo y capacidad sísmica de edificios de marcos de concreto reforzado existentes.

Esta metodología se basa principalmente en:

a) Observaciones de campo.
Observar los efectos que han sufrido las edificaciones durante varios terremotos contribuye al proceso de evaluación del comportamiento sísmico de los edificios y a la asignación de valores a los factores que en el método se utilizan. Se dan los valores más altos a aquellos factores que causan más frecuentemente daños severos.

b) Códigos sísmicos y disposiciones.
Los rangos de los parámetros de diseño recomendados en los códigos, reflejan la importancia que tienen éstos en el comportamiento dinámico del edificio, y establecen una pauta para la asignación de valores numéricos de los factores que se utilizan en el método.

c) Métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica desarrollados previamente.
Para evaluar la vulnerabilidad sísmica se han desarrollado varias metodologías. Algunas de ellas presentan una estimación bastante simple y escueta, pudiendo aplicarse a grupos particulares de edificios; otras más detalladas se utilizan en edificios individualmente.

Independientemente de la metodología, el estudio de ellas, establecer sus ideas básicas, desventajas y ventajas proporciona información útil que permitirá evaluar con mejor criterio las diferentes estructuras.

d) Trabajos de investigación previos.
Los diferentes trabajos de investigación efectuados para determinar los efectos de las diversas características de los edificios en el comportamiento dinámico y la vulnerabilidad sísmica son útiles, pues permiten detectar las causas de una respuesta sísmica inadecuada. Los resultados y conclusiones de estas investigaciones constituyen la base

para la asignación de los valores de los diferentes factores considerados en la metodología propuesta.

La metodología propuesta por Soliman, Elnashai y Sobiath (1990) tiene por objetivo evaluar la vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios existentes, la cual se desarrolla asignando valores numéricos a ciertos factores, con los que se representan los parámetros influyentes en la respuesta sísmica de la estructura. Esta asignación se ha realizado de acuerdo a los resultados obtenidos de las observaciones de campo, trabajos de investigación previos y las metodologías ya existentes, aunque evidentemente ha involucrado ciertos criterios subjetivos en cuanto a los valores máximos y mínimos que pueden tomar estos factores.

En esta evaluación se presentan tres pasos principales:

i. Evaluación preliminar.
ii. Evaluación de detalles.
iii. Evaluación de la sismicidad y efecto de sitio.

i. Evaluación preliminar (FPE).
Se consideran aquellos parámetros relacionados con la condición actual del edificio como producto de su mantenimiento, exposición sísmica previa, edad y estado de los elementos estructurales.

Además, se toma en cuenta el efecto de aquellos aspectos que inciden en el comportamiento sísmico del edificio, tales como las dimensiones de la sección transversal de los elementos, esbeltez de las columnas, la distribución de las rigideces, capacidad viga-columna, posibles efectos de torsión, el aspecto en planta, etc.

ii. Evaluación de detalles (FDE).
Este factor involucra principalmente una comparación de los refuerzos longitudinales y transversales de vigas y columnas con los requerimientos establecidos en códigos de diseño.

iii. Evaluación de la sismicidad y efecto de sitio (Fss).
El factor de sismicidad y efecto de sitio contempla las condiciones del suelo de cada emplazamiento, su sismicidad y el potencial de licuefacción de la zona.

Una vez obtenidos los tres factores anteriores, se puede establecer a partir de los valores numéricos respectivos, los niveles de vulnerabilidad, riesgo y

la capacidad sísmica que dicha metodología le asigna a una estructura en particular.

3.2 Marco teórico de los parámetros involucrados.

Para una adecuada aplicación de este método es necesario tener nociones teóricas de aspectos estructurales involucrados en el desarrollo del mismo:

a) Configuración de la estructura.
b) Dimensiones de los elementos.
c) Resistencia y rigidez.
d) Agrietamiento.
e) Interacción con estructuras adyacentes.

De datos empíricos obtenidos del terremoto de México (1985) se puede observar cómo algunos de los aspectos anteriores tuvieron mucho que ver en el comportamiento de las estructuras. A manera de ejemplo, se establece una relación entre los tipos de estructuras y la causa más común de falla, observándose lo siguiente:

Considerando los siguientes tipos de estructuras[37]:

1. Columnas y sistema de losa reticular.
2. Marcos de concreto.
3. Paredes de mampostería.
4. Marcos de acero.
5. Marcos de concreto en primer piso y paredes de mampostería en pisos superiores.
6. Marcos de concreto y sistema de entrepiso viga- bloque.
7. Paredes de concreto y sistema de losas reticulares.
8. Paredes y marcos de concreto.
9. Marcos de concreto y sistema de losa reticular.

y las causas posible de daños como:

A) Esquina interior (alta excentricidad).
B) Interacción con estructuras adyacentes.
C) Piso de primer nivel débil.
D) Irregularidades en elevación.
E) Irregularidades en planta.

---

37 Aguilar, J , et al " Earthquake Spectra", Editorial Board, 1989, p.145.

F) Columnas cortas.
G) Volteo.
H) Asentamiento o hundimiento.
I) Emersión del edificio.
J) Daños debido a terremotos previos.
K) Excentricidad en juntas.
L) Punzonamiento de losas reticulares.

Obteniendo la tabla que a continuación se presenta:

CAUSAS DE DAÑOS	TIPOS DE ESTRUCTURA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A Esquina interior	12	24	0	0	2	2	2	2	1
B Interacción con estructuras adyacentes	5	11	2	0	1	2	1	4	2
C Piso de primer nivel débil	8	9	0	0	2	1	0	1	1
D Irregularidades en elevación	6	9	0	0	0	0	1	1	1
E Irregularidades en planta	12	19	1	0	1	1	2	2	3
F Columnas cortas	4	4	0	0	0	0	1	1	1
G Volteo	1	4	1	0	0	2	0	1	1
H Asentamiento o hundimiento	1	3	1	0	1	2	0	0	2
I Emersión del edificio	1	0	0	0	0	0	0	0	0
J Daños debido a terremotos previos	0	2	0	1	0	0	0	1	0
K Excentricidad en juntas	1	2	0	0	0	0	0	1	0
L Punzonamiento de losas reticulares	3	0	0	1	0	0	3	0	1

Fuente: Aguilar, J. et al, Earthquake Spectra", Editorial Board, 1989, p.145.

Tabla 3.1 Relación entre las causas de los daños y los tipos de estructuras. Terremoto de México, 1985.

De la tabla anterior, se puede decir, que de los nueve tipos de estructuras estudiados para el terremoto de México en 1985, los edificios con columnas y sistema de losa reticular (tipo 1) y los marcos de concreto (tipo 2) fueron los más afectados sin considerar la causa de los daños, y por otro lado, los marcos de acero y los edificios de paredes de mampostería presentaron menor riesgo, suponiendo que las estructuras tienen proporciones similares. Si se concentra la atención en los dos primeros casos, se observan tres factores determinantes en las fallas de ellos: esquina interior, irregularidades en planta e interacción con estructuras adyacentes.

El hecho de que un edificio falle debido a las dos primeras causas, indica que la incidencia del aspecto y forma en planta es un factor relevante en el comportamiento de una estructura, cuando esta se ve sometida a la acción de un sismo.

Todo ello, conduce a comprender el por qué se le da especial importancia a los aspectos relacionados con las irregularidades que un edificio presente en su estructura. En ese sentido, una metodología como la planteada por Soliman et al, la cual, da prioridad a factores relacionados con las irregularidades que un edificio presente tanto en planta como en elevación, justifica que la vulnerabilidad sísmica se vea regida por este tipo de factores.

3.2.1 Configuración de la estructura.

3.2.1.1 Importancia de la configuración.

De manera general, la configuración se relaciona con el tamaño y forma de un edificio, pero también toma en cuenta la naturaleza, tamaño y ubicación de los elementos estructurales y no estructurales (Ver figura 3.1).

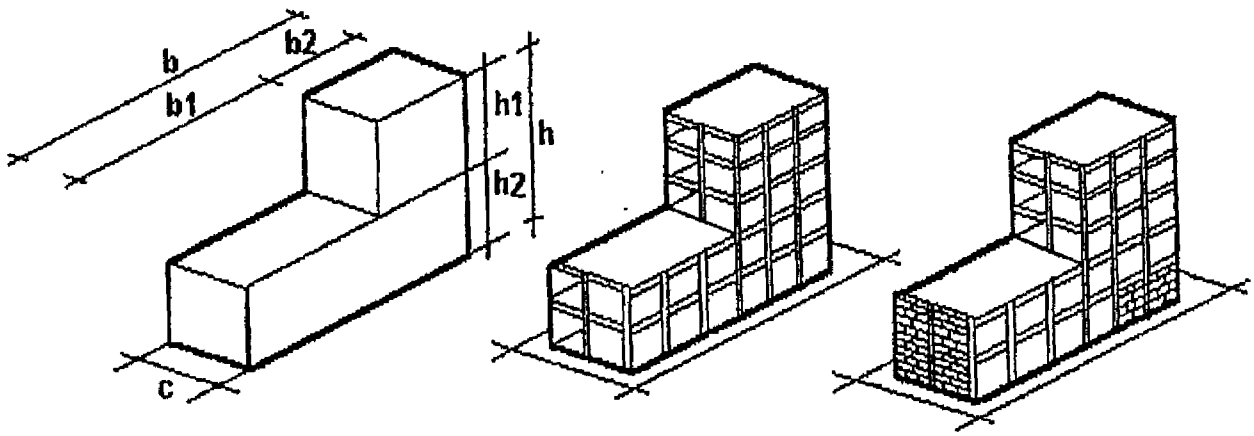
Los elementos estructurales son innegablemente importantes, no obstante los no estructurales también, si se considera su ubicación y su peso, ya que podría en dado caso incrementar de manera significativa la diferencia de ubicación de su centro de masa y rigidez, incrementando la posibilidad de torsión, la cual es producto de la excentricidad que existe entre el centro de masas y el centro de rigidez, por las fuerzas externas actuantes.

Este parámetro ya sea analizado en conjunto (considerando a la vez elementos estructurales y no estructurales) o de forma individual, es tal que las fuerzas sísmicas pueden generar esfuerzos mayores que los correspondientes a la resistencia proporcionada a los elementos estructurales y a sus conexiones, razón por la cual una estructura puede fallar.

El factor de configuración, adquiere mayor importancia en el diseño de las estructuras, William Holmes (1976), ingeniero en estructuras afirma:

" Se sabe desde hace mucho tiempo que la configuración y la sencillez y la alineación del sistema resistente a los sismos de una

estructura, es tan importante, o acaso más, que las fuerzas laterales de diseño".



Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 1, Editorial Limusa, México, 1991, p.16.

Figura. 3.1 Ilustración de definición de configuración.

José Francisco Terén, arquitecto nicaragüense, luego de estudiar los efectos del terremoto de Managua en 1972, señala un punto importante a considerar en el diseño:

- En zonas sísmicas, las edificaciones deberían ser "sencillas, continuas, simétricas, rectilíneas y repetitivas".

3.2.1.2 Influencia de la configuración en el comportamiento sísmico de la estructura.

Establecida la importancia de la configuración en la respuesta de una estructura ante un sismo, es necesario explicar con detalle algunos de los elementos con mayor incidencia:

a. Altura.

La altura de un edificio es un parámetro muy influyente en el período de vibración de éste, ya que a medida aumenta su

altura, por lo general aumenta su período. Esto puede observarse en la ecuación simplificada para su cálculo:[38]

$$T = 0.01\ n \qquad (3.1)$$

donde:

n = número de pisos de un edificio de marcos de concreto reforzado.

Un cambio en el período de vibración involucra cambio en el nivel de respuesta y magnitud de las fuerzas laterales originadas por las solicitaciones sísmicas que actúan en cada nivel del edificio.

b. Dimensiones horizontales.

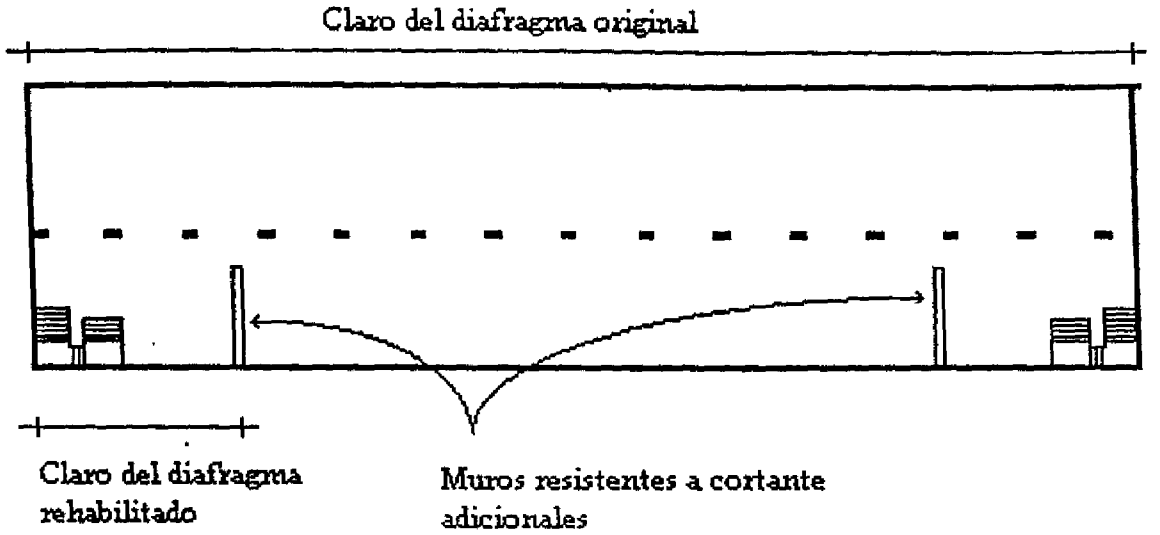
Una estructura por sencilla y simétrica que se presente, si posee una planta donde uno de sus lados es considerablemente mayor que el otro, puede presentar daños al momento de responder ante las solicitaciones sísmicas. Esto se explica si se considera que las hipótesis relacionadas con el movimiento del suelo no siguen siendo válidas en edificios extremadamente largos, según plantea S. Polyakov[39] (1974) que establece que cuando se determinan las fuerzas sísmicas, por lo general se supone que el edificio vibra de tal manera que todos los puntos de una planta tienen el mismo nivel de desplazamiento, velocidad y aceleración y además, la misma amplitud. Sin embargo, esto en la realidad no ocurre, ya que dependiendo de la densidad del suelo y de los diferentes elementos estructurales, la base del edificio vibra asincrónicamente con aceleraciones diferentes, generando esfuerzos longitudinales de tensión - compresión y desplazamientos horizontales adicionales.

La figura 3.2 es un ejemplo de estructuras que presentan grandes claros que someten a grandes esfuerzos a sus diafragmas, dicho problema se logra subsanar si se agregan muros o marcos que reduzcan el claro del diafragma .

---

38 Bommer, Julian "Sismología para Ingenieros", p. 280.

39 Polyaknov,S., "Design of Earthquake Resistant Structures", Mir Publishers, Moscú, 1974, p. 154.



Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 1, Editorial Limusa, México, 1991, p.68.

Fig. 3.2 Vista en planta de un diafragma con muros de cortante.

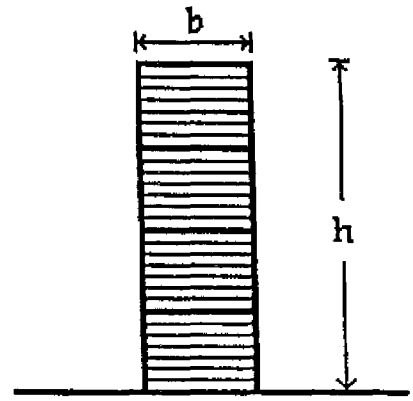
c. Proporción.

Se entiende por la proporción, a la relación entre la altura y ancho de un edificio, calculado de igual manera que para una columna, y se ilustra en la figura 3.3.

En el diseño sísmico, la proporción de un edifico es más importante que sus dimensiones absolutas, ya que según explica Dowrick[40] :

" Cuanto más esbelto sea un edificio, peores serán los efectos de volteo de un sismo y mayores los esfuerzos sísmicos en las columnas exteriores, en especial las fuerzas de compresión por volteo, las cuales pueden ser difíciles de manejar".

40 Dowrick, D.J., "Earthquake Resistant Design" , Londres, 1977, p. 82.



Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 1, Editorial Limusa, México, 1991, p.69

Fig. 3.3 Relación altura/ancho.

d. Simetría.

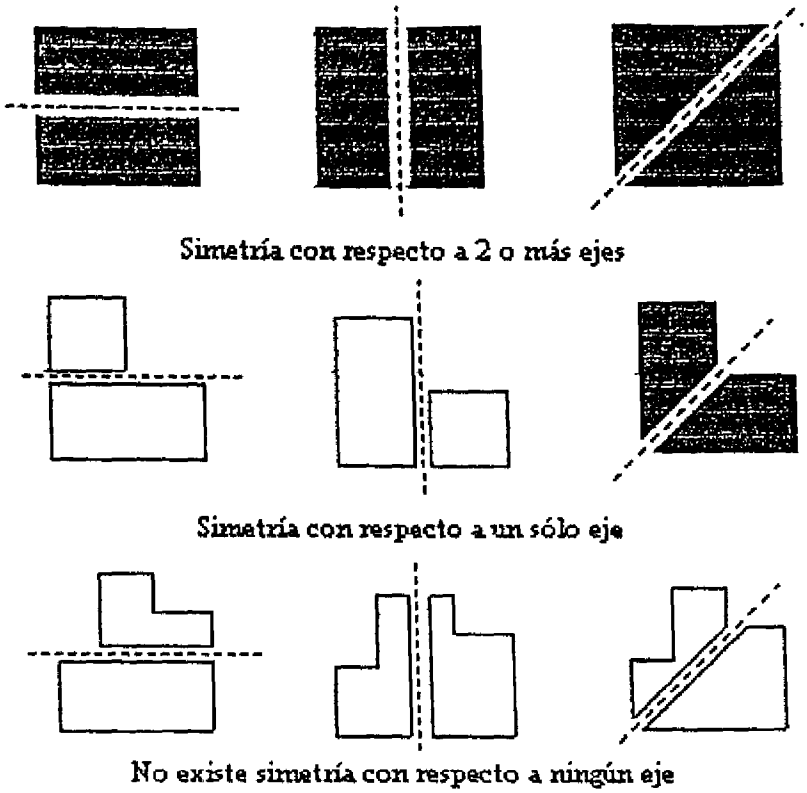
Se dice que un edificio es simétrico, si con respecto a uno o más ejes en planta, su geometría es igual a ambos lados de cualquiera de los ejes. En la figura 3.4 se muestran ejemplos de edificios con simetría geométrica en planta.

Existen dos razones básicas por las que formas simétricas son preferibles a aquéllas que no los son:

i) Una asimetría geométrica tiende a producir torsión, es decir, excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez.

ii) La asimetría tiende a concentrar esfuerzos, siendo un ejemplo bastante común la concentración en una esquina interior (véase figura 3.5).

Merece la pena detenerse en los casos de configuraciones con esquinas interiores. Esta es una característica de configuraciones que tienen la forma de L, T, U, H ó +, las cuales por lo general tienden a producir variaciones de rigidez y por consiguiente movimientos diferenciales entre las partes

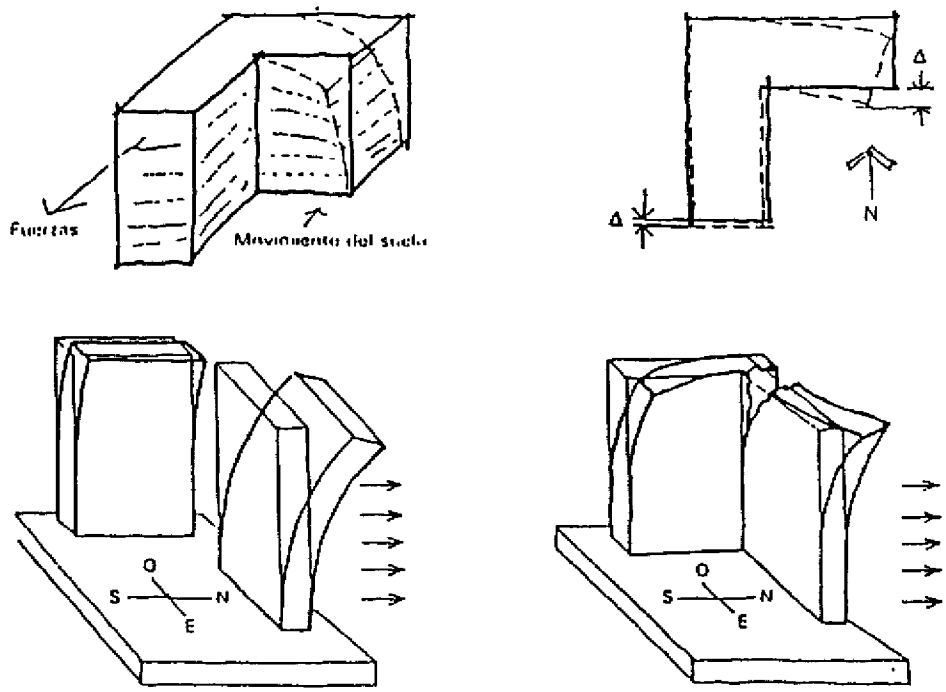


Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 1, Editorial Limusa, México, 1991, p.71.

Fig. 3.4 Simetría en planta.

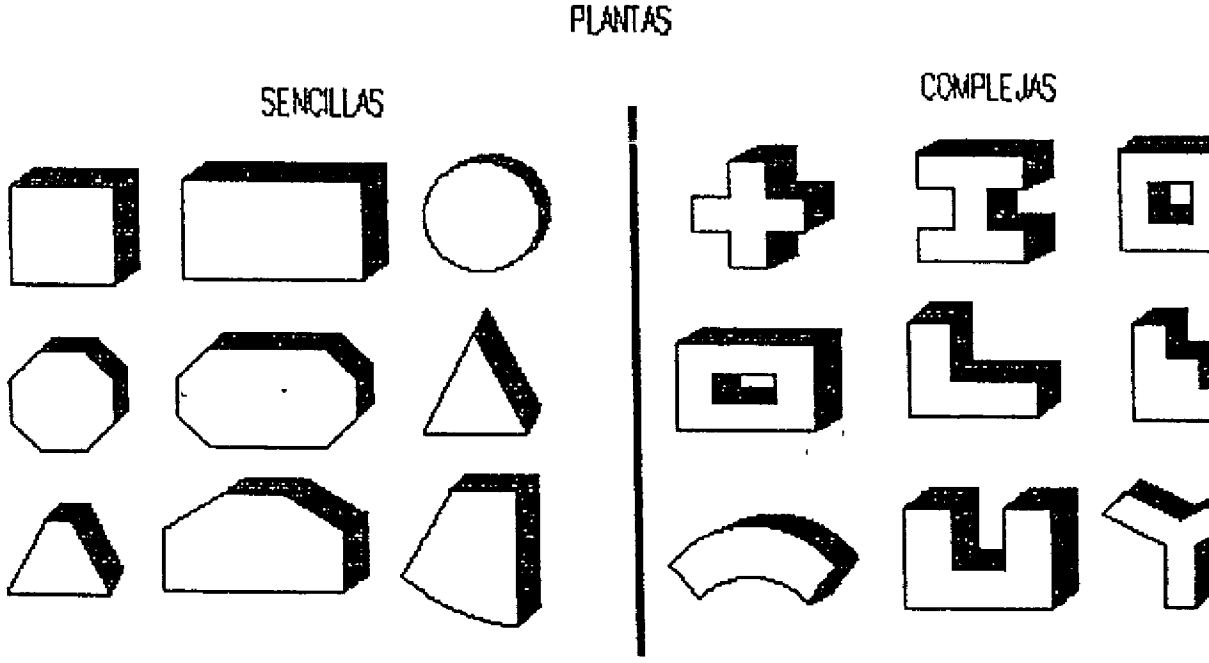
del edificio, lo que origina una concentración local de esfuerzos en la esquina entrante. Este efecto en un edificio en forma de L se muestra en la figura 3.5. El otro problema que suele presentarse es la torsión.

La figura 3.6 muestra algunos ejemplos de formas en planta de edificios comunes, diferenciadas como sencillas y complejas.



Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 2,Editorial Limusa, México, 1991, p.234.

Fig. 3.5 Fuerzas en un edificio con forma de L .



Fuente: Arnold,C., Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, Tomo 2, Editorial Limusa, México, 1991, p.239.

Fig. 3.6 Ejemplos de formas sencillas y complejas en planta de edificios.

3.2.2 Dimensiones de los elementos.

El dimensionamiento y proporcionamiento de refuerzo de los elementos que componen un edificio es fundamental, ya que se pretende que estos puedan desarrollar un alto grado de ductilidad, y que ante un evento sísmico experimenten deformaciones inelásticas que permitan disipar energía para prevenir una situación de colapso.

Algunas de las observaciones que se plantean para que los elementos de una estructura satisfagan ciertos requisitos de seguridad y de comportamiento ante condiciones de servicio son las siguientes :

i) Buscar sencillez y uniformidad en el proporcionamiento y dimensionamiento de los elementos, evitando discontinuidades en las dimensiones de los elementos de concreto y en la distribución de acero.

ii) Limitar la relación ancho a peralte y la relación longitud a peralte en las vigas, para evitar esbelteces excesivas que puedan originar problemas de pandeo lateral.

iii) Revisar las capacidades viga - columna, con el fin de que las articulaciones plásticas se formen en las vigas y no en las columnas.

3.2.3 Resistencia y rigidez.

La resistencia y la rigidez constituyen dos de las características importantes de una estructura y la presencia de discontinuidades en ellas conlleva a una serie de problemas, Robert Hanson y Henry Degenkolg las resumen de la siguiente manera:

" Si hay una sola zona débil en el trayecto de transmisión de fuerzas, o si hay un cambio brusco de rigidez, habrá una zona de peligro. "

...Si una estructura tiene una parte mucho más flexible abajo de una parte rígida, la mayor parte de la absorción de la energía se concentra en la porción flexible, y la porción rígida absorbe muy poco..."[41]

---

41 Hanson, R. et al, " The Venezuela Earthquake, July 29, 1967" American Iron and Steel Institute, Washington, 1975, p 314.