

(Fig. 4d). La comprobación de esto también deberá ser hecha por vía experimental.

5. ESPECTROS DE DISEÑO

Las ordenadas de los espectros de diseño, se obtienen a partir de las ordenadas de los espectros de respuesta elástica ya vistos, divididos por el factor de reducción de respuesta R el cual es igual a D para períodos mayores o iguales a 0,15 seg; desde este período hasta 0 varía linealmente de acuerdo a la expresión:

$$R = 1 + \frac{T}{0,15} (D - 1)$$

Lo anterior quiere decir que los espectros de respuesta elástica, y por tanto los coeficientes sísmicos de diseño, se pueden reducir en la medida en que el sistema resistente a sismos garantice una mayor capacidad de absorción y disipación de energía sin pérdida de capacidad portante (Fig. 5). Por el contrario, las fuerzas de diseño resultarán incrementadas cuando se trate de sistemas constructivos en los cuales sea necesario seleccionar pequeños valores de D.

6. MODELIZACIÓN Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

En las Normas se establece que los efectos de las acciones sísmicas sean analizados, "suponiendo comportamiento elástico lineal de acuerdo con los principios de la Teoría de Estructuras". Se llama la atención allí sobre la hipótesis tácitamente aceptada en los métodos de análisis, según la cual: "los pisos, techos y sus conexiones actúan como diafragmas indeformables en su plano, y están diseñados para transmitir las fuerzas a los elementos

verticales del sistema resistente a sismos". Se indica asimismo, que los entrepisos prefabricados pueden aceptarse como diafragmas: "siempre que se demuestre la efectividad de la unión entre los diversos miembros". "Si los entrepisos no poseen la rigidez necesaria, deberá considerarse su flexibilidad en el análisis y diseño". De modo que, para poder aplicar los métodos de análisis de las Normas en sistemas con entrepisos constituidos por elementos prefabricados, es necesario demostrar que estos están unidos de forma tal que actúan como diafragmas indeformables.

Los criterios de análisis para cualquier edificación, son esencialmente los siguientes:

- a) análisis en 2 direcciones ortogonales;
- b) suponer comportamiento elástico;
- c) respetar la compatibilidad de deformaciones;
- d) superposición de efectos traslacionales y torsionales.

La experiencia de terremotos pasados y los resultados de estudios analíticos, revela que edificaciones en las cuales se presenten cambios importantes en: (i) la distribución de rigideces y/o de resistencias (Fig. 6a), (ii) la distribución de masas (Fig. 6b), (iii) o con excentricidades excesivas (Fig. 6c), requieren procedimientos de análisis más refinados que el llamado estático equivalente.

En las nuevas Normas se reconoce este hecho y los métodos de análisis están condicionados a la regularidad de la edificación; las investigaciones que respaldan el método estático equivalente utilizado en la Norma, limitan su aplicabilidad a 20 pisos o 60 metros de altura medido desde el nivel

de base (Ref. 2).

Para el caso del análisis sísmico de soluciones no tradicionales es preciso idealizar los diagramas de restitución del sistema resistente a sismos de un modo realista, a partir de los ensayos ya mencionados en el § 4.2, tanto en el rango elástico como en el inelástico.

7. CRITERIOS DE VERIFICACIÓN

7.1) Aplicación General

Además de los criterios de análisis y diseño vistos, en las nuevas Normas venezolanas se establecen los criterios de verificación siguientes:

- a) el coeficiente sísmico resistente tanto de la edificación como de partes de la misma, no debe ser inferior a valores mínimos prefijados;
- b) los desplazamientos máximos entre niveles están acotados y en su verificación se deben incorporar las deformaciones elásticas e inelásticas;
- c) la separación entre edificaciones debe respetar ciertos criterios;
- d) los efectos de segundo orden, efecto $(P - \Delta)$, deben ser tomados en cuenta a partir de cierto límite.

Nótese que los límites de desplazabilidad referidos en el punto (b) contienen una componente inelástica, tanto mayor cuanto menor sea el coeficiente sísmico de diseño a nivel cedente; para edificaciones altas de la región de Caracas, diseñadas con fuerzas cortantes basales a nivel cedente del orden de 5 % a 6 % del peso de la edificación, las deformaciones inelásticas

esperadas bajo las acciones sísmicas prescritas en las zonas de mayor amenaza sísmica del país, son del orden de 4 a 5,5 veces las elásticas (Ref. 6 y 7).

7.2) Aplicación a la Verificación de Sistemas de Viviendas Económicas

De una manera general, los criterios de verificación recién anotados son aplicables a los sistemas de viviendas económicas. La experiencia revela no obstante, que cuando se trata de soluciones unifamiliares de un solo nivel la sobrevivencia ante acciones sísmicas depende principalmente del cumplimiento del primero de los criterios, es decir, el (a); detalles constructivos inadecuados en los sistemas empleados han conducido a fallas prematuras.

La forma más directa y confiable para conocer cuan alejado está el diseño final de la posible inestabilidad bajo acciones sísmicas y cuáles son los ajustes más convenientes, requiere la ejecución de ensayos dinámicos que complementen los ya mencionados en el § 4.2. En este sentido, debe mencionarse aquí la posibilidad de ensayar unidades de vivienda colocadas sobre una mesa vibrante capaz de reproducir apropiadamente movimientos sísmicos de gran intensidad; estos ensayos permiten hoy en día una verificación más realista del comportamiento sismo-resistente de estructuras.

8. SÍNTESIS DE ASPECTOS RESALTANTES

De las consideraciones presentadas en este trabajo, se desprender los siguientes tres aspectos resaltantes:

- a) la naturaleza repetitiva de las edificaciones propias de sistemas para viviendas económicas, requiere extremar su análisis y diseño en áreas de elevada amenaza sísmica (Zonas 3 y 4 del mapa de

zonificación sísmica de Venezuela, Figura 1B).

b) las nuevas Normas de diseño antisísmico no incluyen prescripciones para los sistemas constructivos diferentes a los allí tipificados. Su aprobación está sujeta a la aplicación de los lineamientos básicos sobre los cuales se fundamentan las Normas.

c) de la revisión hecha sobre los lineamientos básicos de análisis y diseño, se desprende que para su correcta aplicación en la evaluación de sistemas de viviendas económicas es necesario efectuar ensayos pseudodinámicos en prototipos, con el fin de determinar la capacidad de absorción y disipación de energía del sistema adoptado. De igual modo, la experiencia revela que el mejor criterio de verificación para evaluar la confiabilidad del diseño final consiste en la ejecución de ensayos dinámicos sobre prototipos.

En el Cuadro N° 1 se sintetizan los criterios establecidos en el IMME para la verificación sísmica de sistemas constructivos de viviendas económicas a ser ubicadas en áreas geográficas donde pueden ocurrir sismos. La selección de los ensayos necesarios para su evaluación es función del sistema constructivo, de la información disponible y de la cuantificación analítica hecha. Obsérvese que los ensayos físicos y mecánicos usuales en cualquier verificación de sistemas constructivos, son complementados en este caso por los pseudodinámicos y dinámicos recién mencionados.

REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

1. Dirección de Cartografía Nacional. Atlas de Venezuela. Edición 1979. MARNR, República de Venezuela.
2. Comisión de Normas para Estructuras para Edificios. Normas para edificaciones antisísmicas. Ministerio de Desarrollo Urbano, Caracas 1982, 57 p.
3. Grases, J. Fundamentos para la elaboración del nuevo mapa de zonificación sísmica de Venezuela. Apéndice de la Ref. 2.
4. Ugas, C. Influencia de las condiciones del subsuelo en los espectros de respuesta. FUNVISIS, Informe Final en preparación, 1982.
5. Griffiths, H.; Pugsley, A. and Saunders, O. Report into the collapse of flats at Ronan Point, Canning Town, London, HMSO. London, 1968.
6. Grases, J. Particularidades del diseño antisísmico en relación a edificaciones prefabricadas multifamiliares. En: Simposio sobre Construcción Masiva de Viviendas, Caracas, septiembre 1979, 30 p.
7. Grases, J. y López, O.A. Experiencias en el desarrollo de un código sísmico para Venezuela. En: 2° Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Lima, agosto 1980, 49 p.