

EVALUACION SISMICA DE VIVIENDA DE BAJO COSTO EN VENEZUELA

Otto Carvajal*

RESUMEN

La utilización de sistemas constructivos y la aplicación de técnicas constructivas no tradicionales en la producción masiva de viviendas de bajo costo, obliga a recurrir a evaluaciones experimentales o a evaluaciones analíticas basadas en resultados experimentales. El diseño y la ejecución de los ensayos son particulares para cada sistema, sin embargo, existen criterios generales para la evaluación de la resistencia antisísmica de los mismos. En este trabajo se presentan los principales criterios utilizados para estudiar la capacidad de estos sistemas para resistir la acción sísmica prevista en el Código venezolano, así como los resultados obtenidos al aplicarlos a diferentes sistemas estructurales destinados para la construcción de viviendas unifamiliares y multifamiliares.

INTRODUCCION

El déficit permanente de vivienda, ha obligado a implementar soluciones que abaraten los costos de las mismas y que a su vez garanticen, tanto la seguridad como servicialidad. La gama de soluciones va desde la vivienda informal unifamiliar hasta los edificios multifamiliares, construidos por métodos tradicionales en los que el bajo costo se logra a costa de los acabados, pasando por los más diversos sistemas construidos con materiales y técnicas tradicionales.

En este trabajo consideramos solamente aquellas viviendas unifamiliares o multifamiliares de naturaleza repetitiva, construidas totalmente prefabricadas; parcialmente prefabricadas; usando encofrados racionalizados o mediante una combinación de ellos.

Aquellas viviendas construidas por métodos tradicionales aunque con componentes o elementos prefabricados, pueden ser evaluados siguiendo los criterios contenidos en la normativa vigente.

NORMAS VENEZOLANAS PARA EDIFICACIONES ANTISISMICAS

El diseño de las edificaciones en zonas de riesgo sísmico se basa en las Normas de las Referencias 1 y 2, en las cuales se establecen los métodos de análisis y los requisitos de diseño de los elementos estructurales, dependiendo de la magnitud de la amenaza sísmica. De acuerdo a la Ref. 1, el país se ha dividido en cuatro (4) zonas, las cuales se identifican en el mapa de zonificación sísmica de la Fig. 1. Como se puede apreciar en la Fig. 2, un alto porcentaje de la población, cerca del 75%, habita en las zonas de elevada amenaza sísmica (Ref. 3), por lo que el diseño antisísmico de las edificaciones cobra una importancia capital.

En la Norma Venezolana para las Edificaciones Antisísmicas (Ref. 1), no se incluyen los requerimientos para "el análisis y diseño de edificaciones cuyos elementos portantes sean prefabricados", puesto que para ellos se deben tomar previsiones especiales para garantizar que los miembros y sus uniones posean suficiente resistencia y capacidad para absorber y disipar energía.

Cualquier sistema constructivo debe satisfacer los requisitos básicos del diseño sismorresistente a saber:

- a) Proporcionar una rigidez adecuada durante sismos moderados para asegurar completa protección contra daños, particularmente en componentes no estructurales.
- b) Proporcionar adecuada resistencia para asegurar que la excitación sísmica contemplada en los códigos no resulte en daños irreparables. A pesar de que para tales eventos se espera algún daño estructural, es improbable que en un edificio bien diseñado, éstos sean serios.
- c) Proporcionar adecuada ductilidad y capacidad para disipar energía para el caso en que ocurran eventos sísmicos excepcionales. Se acepta que en estas

condiciones extremas, ocurran extensos daños, tanto estructurales como no estructurales, tal vez más allá de toda posibilidad de reparación, pero se debe minimizar la probabilidad de colapso.

Para el diseño y la estructuración de las edificaciones se requiere determinar las características dinámicas del subsuelo; a tal fin, en las Normas se consideran tres tipos de terrenos de fundación. En términos generales estos tipos corresponden a suelos duros (S1), suelos intermedios(S2) y suelos blandos (S3). Los espectros de respuesta elástica para estos tres tipos de suelos se presentan en las Figs. 3 y 4.

A partir de los espectros de respuesta elástica, se construyen los espectros de diseño, dividiendo las ordenadas espectrales entre el factor de reducción de respuesta (R), el cual depende de la ductilidad (D) de la estructura y del período fundamental (T) (Fig. 5).

El valor de D a usarse en el diseño depende del sistema resistente a sismos, del detallado de los elementos estructurales y de sus conexiones, lo cual condiciona la capacidad de absorción y disipación de energía de la estructura. En la Fig. 6, se muestran los cuatro tipos de sistemas estructurales tipificados en las Normas.

Un aspecto de suma importancia y que determina los métodos de análisis a utilizarse, es el concerniente a la regularidad de la estructura, en lo referente a la distribución de las rigideces, de las masas y de la resistencia, tanto en la planta como en la altura (Fig. 7, 8 y 9). En términos generales se permite el análisis mediante el Método Estático Equivalente para estructuras regulares, y para las marcadamente irregulares se exige el Método de Superposición Modal con tres grados de libertad por nivel.

EVALUACION SISMICA DE VIVIENDA DE BAJO COSTO

La evaluación sísmica de un sistema cualquiera se desarrolla en dos etapas muy bien diferenciadas aunque interdependientes. La primera de ellas es la estimación de las fuerzas a las cuales va a estar sometida la estructura y la segunda comprende la resistencia que presenta la estructura ante las acciones y su capacidad para deformarse.

En el caso de los sistemas de construcción masiva de vivienda que en la mayoría de las soluciones no son de comportamiento tipificable, y que pueden ubicarse en suelos con características diferentes, se deben hacer consideraciones especiales que generalmente conducen a utilizar los valores más desfavorables de las ordenadas espectrales; como es el caso del espectro envolvente de la Fig. 10.

Adicionalmente, se recomienda amplificar los espectros de respuesta elástica en un 25%, lo cual equivaldría a disminuir la probabilidad de excedencia de los movimientos sísmicos (Refs. 4 y 5).

La determinación del factor de ductilidad depende de la estructuración del sistema, que si bien en algunos casos puede asimilarse a un sistema tipificado, en todos los casos debe tomarse de una manera conservadora, a menos que haya suficientes evidencias experimentales que permitan igualarlos a los sistemas tipificados.

Un aspecto sumamente importante a considerar en la evaluación de los sistemas prefabricados, es la rigidez de los entrepisos que permita considerarlos como un diagrama capaz de transmitir las fuerzas laterales a los distintos elementos que conforman el sistema sismorresistente. Asimismo, las juntas deben ser capaces de garantizar la continuidad de los elementos, de tal manera que una falla local no conduzca a un colapso prematuro de la estructura.

La resistencia y ductilidad de los sistemas no tipificados en la Norma debe determinarse mediante ensayos experimentales, que permitan obtener valores confiables de diseño. Hay que señalar que en la construcción de viviendas de bajo costo en Venezuela, se han utilizados sistemas tradicionales en combinación con elementos no estructurales prefabricados, así como también sistemas de encofrado racionalizados (tipo túnel) que pueden ser tipificados, y por lo tanto diseñarse siguiendo los requerimientos generales de las Normas, pero respetando aquellas consideraciones derivadas del carácter repetitivo de los mismos.

EVALUACION EXPERIMENTAL DE SISTEMAS PREFABRICADOS

La aplicación de técnicas experimentales para la evaluación de los sistemas prefabricados, va precedido de un análisis detallado del sistema resistente a sismos, a fin de detectar las posibles zonas o elementos débiles, cuyo comportamiento deficiente puede comprometer la estabilidad de la edificación. Los criterios a utilizar dependen fundamentalmente del material utilizado.

En el caso de aquellos sistemas constituidos por elementos de concreto armado, el diseño de los miembros puede verificarse de acuerdo a las de las prescripciones Norma de la Ref. 2. En estos sistemas, los elementos débiles los constituyen las juntas de unión entre los elementos, las cuales deben garantizar la continuidad de los elementos y restituir el monolitismo perdido durante el proceso de prefabricación. La presencia o no de un detallado adecuado de las juntas de unión entre los elementos, determina el comportamiento de las edificaciones ante sismos severos, como quedó evidenciado en el sismo de Armenia de 1988 (Refs. 6 y 7), donde un número importante de edificaciones colapsaron o tuvieron que ser demolidas.

En el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, se han realizado un número importante de ensayos sobre elementos y juntas prefabricadas de concreto armado sometidas a cargas alternantes, entre los cuales se pueden citar los de Spasic (Ref. 8), sobre el comportamiento de elementos estructurales en concreto armado liviano; los de Carvajal (Ref. 9), quien realizó un estudio experimental de muros estructurales sometidos a cargas horizontales alternantes; los de Molina y Pollner, quienes realizaron un programa de ensayos sobre elementos prefabricados (Ref. 10), y más recientemente los de Díaz María L., quien ejecutó un conjunto de ensayos sobre juntas verticales para edificios de grandes paneles prefabricados (Ref. 11) y sobre juntas vigas-columnas prefabricadas (Ref. 12). De estos ensayos se han obtenido resultados que permiten evaluar la resistencia y ductilidad de diferentes sistemas estructurales resistentes a sismos.

Para aquellos sistemas construidos con materiales no tradicionales, se hace necesario realizar una evaluación integral, que va desde la caracterización de los materiales, pasando por ensayos sobre los componentes, hasta llegar al ensayo de un modelo a escala natural. Un programa típico de ensayos sobre un sistema constructivo no tradicional requiere señalar los elementos resistentes a las

solicitaciones esperadas, analizar la documentación existente sobre ellos y estimar la respuesta de los mismos ante esas solicitaciones.

Los ensayos pueden ser de naturaleza estática, dinámicos o pseudo-dinámico dependiendo de la respuesta que se quiera obtener. Por ejemplo, en elementos horizontales planos tales como losas de entepiso y techos, se aplican cargas distribuidas o concentradas para conocer la resistencia a la flexión, y también ensayos con cargas contenidas en el plano del elemento, a fin de evaluar la resistencia al corte de las juntas longitudinales y por lo tanto, su eficiencia como diafragma rígido. Los muros y los pórticos se someten a la combinación de cargas axiales y cargas horizontales alternantes. Para el caso de las juntas se debe evaluar su resistencia al corte, a la tracción y la compresión, dependiendo si éstas son verticales u horizontales.

Los ensayos de tipo dinámico se realizan sobre prototipos o modelos a escala, con el objeto de obtener sus propiedades dinámica fundamentales, mediante vibración libre, vibración forzada o vibración ambiental.

Siguiendo los lineamientos antes señalados se han elaborado y ejecutados en el IMME, programas de ensayos para sistemas constructivos no tradicionales, de vivienda de bajo costo; haremos referencia a algunos de ellos.

Sobre una unidad de vivienda unifamiliar construida con un sistema formado por paneles medianos de concreto reforzado de altura igual a la de la edificación, se realizaron ensayos de vibración libre y vibración forzada con un sistema de masas contrarrotantes. Las figuras 11 y 12, contienen los registros obtenidos en cada caso. De los ensayos de vibración libre se estimaron los períodos fundamentales para cada dirección (0.04 seg. en la dirección longitudinal y 0.07 seg. en la dirección transversal) y el coeficiente de amortiguamiento relativo que para este caso fue de 0.10. Adicionalmente, se determinó la rigidez y la resistencia de un muro típico ensayándolo bajo el sistema de carga mostrado en la Fig. 13. En la Fig. 14 se presenta uno de los diagramas obtenidos durante el ensayo.

En otro sistema también unifamiliar, formado por paneles medianos de asbesto-cemento, se sometió un módulo de vivienda a la acción combinada de cargas verticales y horizontales alternantes (Fig. 15). Además de los diagramas de

restitución (Fig. 16), se obtuvieron el período fundamental y el coeficiente sísmico de diseño, que resultó ser igual a 0.44. Adicionalmente, se pudieron detectar las zonas de mayor debilidad del sistema. Estos ensayos se realizaron en la Nave de Ensayos Especiales del IMME.

Otro de los programas de ensayos experimentales ejecutados, fue el que se realizó sobre un sistema prefabricado de vivienda multifamiliares, a base de módulo tridimensionales. Cada módulo se formaba uniendo los paneles de muro, piso y techo con pernos. Posteriormente, en obra, los módulos se unían para formar una edificación de cuatro pisos de altura. La unión entre dos módulos superpuestos se lograba mediante cuatro pernos ubicados en las cuatro esquinas y los módulos contiguos se unían mediante platinas apernadas, en los bordes de los elementos de piso y de techo.

Una vez analizada la documentación suministrada se decidió realizar los siguientes tipos de ensayos:

- 1) Ensayos de compresión en las esquinas de los módulos. Estos ensayos se hicieron debido a que las hipótesis de cálculo suponían que el momento de volcamiento se transmitía mediante fuerzas axiales en las esquinas de los módulos. (Fig. 17a).
- 2) Ensayos de tracción de las uniones apernadas entre dos módulos superpuestos, que incluían la unión entre las placas de techo y de piso; y las uniones entre la placa de techo y los muros (Fig. 17b).
- 3) Ensayos de tracción en las uniones entre los paneles de muros (Fig. 17c).
- 4) Ensayo de corte en las uniones entre los paneles de muros (Fig. 17d).
- 5) Ensayos de tracción en las uniones entre los paneles de muros y el piso (Fig. 17e).

Los ensayos evidenciaron que los módulos de escalera presentaban deficiencia en la resistencia de sus esquinas, por lo que fue necesario diseñar los elementos de

refuerzo. Los resultados de los ensayos realizados posteriormente, indicaron que el refuerzo resultó satisfactorio.

El último ejemplo que se menciona, es el de un sistema a base de paneles fabricados con tubos de hierro galvanizado de 0,20 m ó 0,30 m y de espesor variable entre 0,4 y 1,0 mm dependiendo de su función estructural. Una vez ensamblados los tubos se recubrían con diferentes materiales, a saber: los de muro, con un friso reforzado con malla de metal plegado y los de entepiso y techo con paneles de madera. En ciertas soluciones, los paneles interiores se recubren con láminas de yeso. Sobre el comportamiento estructural de este sistema se disponía de muy escasa documentación, por lo que el programa de ensayos fue orientado tanto a estudiar sus propiedades resistentes, como a la elaboración de la documentación técnica.

Sobre los materiales, componentes y ensamblajes del sistema, se realizaron los siguientes tipos de ensayos:

Caracterización de los materiales, los cuales incluyeron: tubos, láminas, malla de metal plegado, paneles de yeso (Dry Wall), láminas de aglomerado (panforte), conectores, vigas, columnillas y friso.

Carga uniformemente distribuida sobre paneles de techo recubiertas con lámina de aglomerado por una cara y de yeso por la otra (Fig. 18a).

Carga uniformemente distribuida sobre un entepiso. Para realizar este ensayo se construyó un módulo de vivienda de 4,36 m x 4,36 m, como el que se muestra en la Fig. 18b.

Carga vertical uniformemente distribuida sobre paneles de muro. A tal efecto se construyó un módulo como el de la Fig. 18c. Para evitar la falla prematura del entepiso, se sobredimensionaron las vigas de acero.

En vista de que se prevé construir viviendas con este sistema en regiones sometidas a la acción de vientos huracanados, se evaluó la resistencia del sistema ante este tipo de solicitaciones. A tal efecto, se diseñó y efectuó

una serie de ensayos que simularon la acción directa e inversa del viento (presión y succión) en las paredes de las viviendas. En las Figuras 19a y 19b se muestran las paredes antes y después de modificarles el refuerzo vertical (columnillas), para resistir las acciones previstas.

Para determinar las propiedades dinámicas fundamentales, se realizaron ensayos de vibración libre y vibración forzada en un módulo de vivienda de dos pisos de altura (Fig. 20).

De estos ensayos se obtuvieron las siguientes propiedades dinámicas de la estructura:

Coefficiente de amortiguamiento relativo 4,1%

Período N-S = 0,14 sg

Período E-O = 0,18 sg

El sistema de masas contrarrotantes indujo una fuerza lateral máxima de 612 kg, la cual produjo pequeños agrietamientos en la estructura.

Adicionalmente, para conocer la resistencia de los muros, se realizaron ensayos con cargas horizontales cíclicas, aplicadas en el extremo superior de los mismos. En la Fig. 21 se presenta uno de los diagramas carga-ñecha obtenidos. A raíz de los resultados obtenidos en los ensayos se mejoró el sistema de anclaje de los muros a la losa de piso y se modificaron los arriostramientos laterales.

CONCLUSIONES

1. Para aplicar las prescripciones contenidas en las Normas, en la evaluación de los sistemas constructivos no tradicionales, de configuración tipificables, se deben modificar adecuadamente los parámetros de diseño para considerar el carácter repetitivo de las viviendas.
2. En aquellos sistemas constructivos que escapan a la tipificación de la Norma, se deben realizar ensayos dinámicos que permiten obtener sus propiedades dinámicas fundamentales.
3. En todo sistema constructivo se deben realizar ensayos sobre los elementos resistentes y sus uniones para determinar los coeficientes de seguridad ante las acciones esperadas.
4. Se debe implementar un cuerpo de recomendaciones que contemple los lineamientos generales para evaluar el comportamiento de los sistemas constructivos no tradicionales. En él se debe considerar la obligatoriedad de realizar ensayos experimentales.

REFERENCIAS

1. COVENIN-FUNVISIS. "Edificaciones Antisísmicas". Normas Venezolanas, 1756-82. Caracas: Covenin, 1982. 123p.
2. COVENIN-MINDUR. "Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño". Normas Venezolanas. 1753-85. Caracas: Covenin, 1987 241 p.
3. Venezuela Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Atlas de Venezuela (Distribución de la Población en Venezuela 1971 Población Urbana). Caracas: 1979.
4. Grases G., José. "Edificaciones Sismorresistentes". Manual de Aplicación de las Normas. José Grases G.; Oscar A. López y Julio J. Hernández. Caracas: Fondur, 1984. 250 p.
5. Grases G., José . "Diseño y Verificación Sísmica de Viviendas Económicas. Limitaciones en la Aplicación de las Nuevas Normas Antisísmicas de Venezuela". En: Boletín Técnico IMME. 1984 22 (74-75): pp. 71-91.
6. Wyllie, L. and J. Filson. "Special Supplement Armenia Earthquake Reconnaissance Report". En: Rev. Earthquake Spectra., Ago. 1989.
7. Wyllie, L. "Lessons from the Armenia Earthquake". En: Concrete International 1989 11 (8).
8. Spasic, Budimir. "Comportamiento de Elementos Estructurales de Concreto Armado Liviano Sometidos a Fuerza Axial y Momentos Alternados". En: Boletín Técnico IMME 1976. 14: (54-55): pp 101-120.
9. Carvajal, Otto. "Muros Estructurales de Concreto Reforzado". Caracas: 1982. 38 p. + anexos.

10. Pollner, Eugenio; Yolanda Molina y Budimir Spasic. "Estudio Experimental de Estructuras de Grandes Paneles, Bajo Acción de Cargas Horizontales Alternadas". En: Boletín Técnico IMME. 1976 14: (54-55): PP. 59-100.
11. Díaz, María L. y Redescal Uzcátegui. "Comportamiento al Corte de Juntas Prefabricadas. Estudio Analítico y Experimental". En: Boletín Técnico IMME 1989. 24: (77): PP. 87-120.
12. Díaz, María L. "Comportamiento de Juntas Prefabricadas de Concreto Armado en Zonas Sísmicas". Caracas: UCV-Facultad de Ingeniería - IMME, 1990. 137 P. (Trabajo de ascenso para optar a la categoría de profesor Titular).

*Ingeniero Civil, M.Sc., Director IMME, Facultad de Ingeniería, U.C.V., Venezuela. Apartado 50361-Caracas 1050-A.