



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Álvarez-Deulofeu, Eduardo Rafael; Peña-Despaigne, Elaisi
Estudio de variantes de edificios de viviendas de mampostería reforzada en zonas sísmicas
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 2, 2020, -Junio, pp. 96-113
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363909007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

**ESTUDIO DE VARIANTES DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE
MAMPOSTERÍA REFORZADA EN ZONAS SÍSMICAS**

**STUDY OF VARIANTS OF HOUSING BUILDINGS OF MASONRY
REINFORCED AT SEISMIC ZONES**

Autores:

Eduardo Rafael Álvarez-Deulofeu, evalvarez@uo.edu.cu. Teléfono (+53) 58250189. Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones. Santiago de Cuba, Cuba.

Elaisi Peña-Despaigne, cpc@megacen.ciges.inf.cu. GEOCUBA, Oriente Sur. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Se aplicó la metodología ERAD al estudio de variantes de edificios de viviendas de mampostería reforzada entre 2 y 5 pisos, que se construirán en la región suroriental de Cuba, sobre suelo firme S2 según la norma sísmica cubana NC 46:1999. La modelación se realizó con elementos finitos (shells) mediante el programa SAP 2000NL v19. Las solicitaciones sísmicas se obtuvieron del método estático equivalente y del método de espectro de respuesta. La evaluación de los parámetros de controles globales y locales seleccionados se realizó mediante la comparación de sus resultados, variando el número de pisos o revestimiento de pisos e impermeabilización de cubierta y con la comparación de las variantes por separado para diferentes niveles de peligrosidad sísmica. La evaluación corroboró el diseño conceptual, simplificó el diseño estructural de las variantes generadas y diferenció niveles de comportamiento estructural.

Palabras clave: mampostería reforzada, edificios de viviendas, comportamiento estructural, seguridad sísmica.

ABSTRACT

It's presented the application of the ERAD methodology for the study of reinforced masonry housings buildings between two- and five stories to be built at southeast region of Cuba on a stiff soil ground S2 type by Cuban seismic code NC 46:1999. The structural model was idealized as an assemblage of two-dimensional finite elements (shells) by software SAP 2000NL v19. To earthquake-loading analysis were applied the equivalent static forces and the response spectrum methods. The evaluation of selected global and local control parameters occurred through their comparison for variations of stories number and loads of the coating of floors and waterproofing materials for roof slabs and the comparison for each one of the variants separately for different seismic hazard levels. This evaluation corroborate the conceptual design, simplifies the structural design and estimate structural behaviour levels of the generated variants.

Keywords: *reinforced masonry, housings buildings, structural behaviour, earthquake-resistant structures.*

INTRODUCCIÓN

La construcción de viviendas fue siempre un factor decisivo en el desarrollo de la sociedad. Actualmente Cuba está involucrada en un programa de construcción de viviendas, donde las técnicas constructivas son aún las convencionales u otras con alto consumo energético. Desde tiempos remotos la utilización de novedosos sistemas constructivos ha sido factible en el uso de las tradicionales técnicas de construcción, con dominio sobre la tipología constructiva antecedente en la época. Sin importar el tipo de tecnología es posible un mejor uso de las mismas técnicas y el mejoramiento del sistema constructivo, cualquiera que fuese (Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 1999; Fundación ICA, A.C., 1999). En este trabajo se valoró la introducción de la técnica constructiva de la mampostería reforzada en las construcciones de viviendas en zonas sísmicas de Cuba a partir de las experiencias en países de Centroamérica y Suramérica (México. Gobierno del Distrito Federal, 2004; Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, 1997; Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), 2001), se seleccionó a México como país de referencia. Se consultaron códigos de referencia internacional (Comité Européen de Normalisation (CEN), 2005; American Concrete Institute, 2014) y literaturas especializadas (Paulay & Priestley, 1992).

Así, basado en un proyecto arquitectónico único (Figura 1a) que utiliza la mampostería reforzada, se pueden definir proyectos racionales diferentes para cada una de las zonas sísmicas del país según la norma sísmica cubana NC 46:1999 (Cuba. Comité Estatal de Normalización, 1999). Se generaron variantes de edificios de viviendas de 2 a 5 pisos de mampostería reforzada que se construirán en las zonas de moderada o acusada peligrosidad sísmica de la región suroriental de Cuba (Zonas 2A, 2B, 3), donde se esperan valores máximos de aceleración del terreno entre 0,15 y 0,3 g. Estas variantes se analizaron para dos soluciones de recubrimientos de piso e impermeabilización de cubierta: una convencional, denominada “Pesada”, y otra con materiales y

tecnologías que reducen el peso muerto, denominada “Aligerada” (Peña, 2011, Álvarez y Peña, 2012).

El objetivo de la investigación fue el análisis de variantes de edificios de viviendas de mampostería reforzada a partir de la aplicación de modelos en elementos finitos, para su futura introducción en zonas de diferente peligrosidad sísmica de Cuba.

METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo propuesto se aplicó la metodología ERAD (Álvarez, 1994), correspondiéndose el alcance de este trabajo con su paso 4: obtener un testimonio acerca de la influencia de los parámetros variables seleccionados en el comportamiento dinámico de las variantes de edificios generados. Para lograrlo se debieron resolver las siguientes tareas de investigación:

- I. Modelación estructural a través de elementos finitos, haciendo uso del SAP 2000NL versión 19.
- II. Evaluación de parámetros de control globales.
- III. Definición de las zonas críticas para monitorear tensiones normales y tangenciales.
- IV. Evaluación de parámetros de control locales.

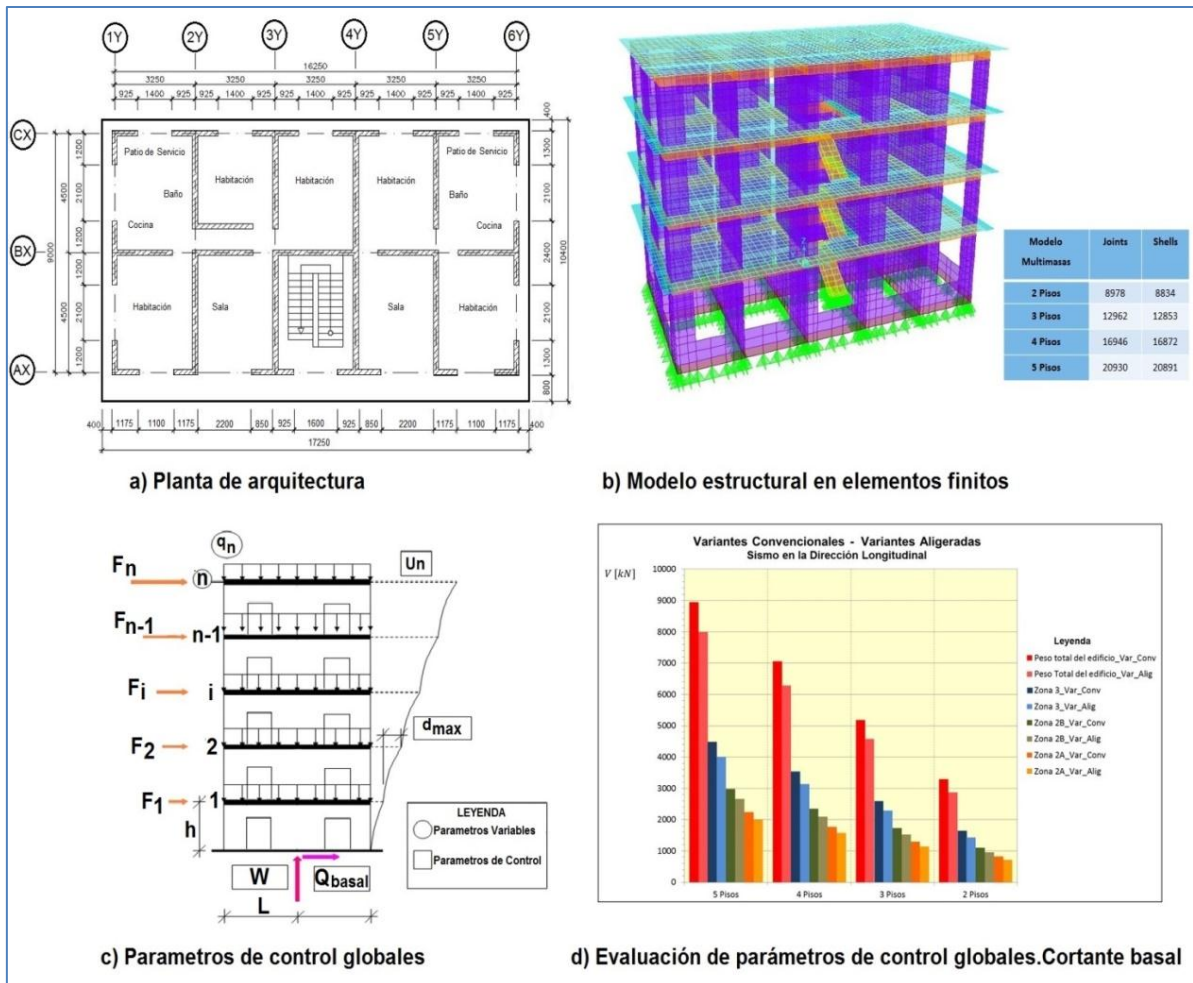


Figura 1. Modelación estructural. Parámetros de control globales.

Fuente: autores

RESULTADOS

I. Modelación estructural a través de elementos finitos, haciendo uso del SAP 2000NL versión 19

La modelación se realizó con elementos finitos *shells* (Zienkiewicz, 1989 y 1991) mediante el programa SAP 2000NL v19 (Figura 1b). Las solicitaciones sísmicas se obtienen del método estático equivalente y el método de espectro de respuesta según la norma sísmica cubana NC 46:1999 (Cuba. Comité Estatal de Normalización, 1999). Se modelan las cargas sísmicas como cargas actuantes en el plano horizontal, actuando el 100 % de la carga sísmica en una de las direcciones principales del edificio, simultáneamente con el 30 % en la otra. La distribución de fuerzas horizontales ocurre no solo en correspondencia

con la rigidez de cada uno de los muros portantes obtenida de sus deformaciones a flexión y cortante, sino también a través del modelo adoptado, que considera las deformaciones a flexión y cortante de las losas de pisos, su fenestración, así como su interacción con las losas de escaleras.

II. Evaluación de parámetros de control globales

La evaluación de los parámetros de control globales monitoreados (Figura 1c) para las variantes de edificios generadas es esencial para diferenciar estas variantes por su comportamiento sísmico, el cual dependerá mucho de la peligrosidad sísmica de las zonas donde se ubican. Esto permite, además de cuantificar la influencia de los parámetros variables seleccionados en los parámetros de control, simplificar la evaluación de los parámetros de control locales, corroborar el diseño conceptual y aportar testimonios importantes para llegar a conclusiones y recomendaciones acerca de las variantes que se construirán en cada una de las zonas sísmicas.

Análisis modal

a) Períodos fundamentales de oscilación

Las tres primeras formas propias acopladas de oscilación para las variantes generadas están muy próximas, correspondiéndose con los períodos fundamentales de traslación en las direcciones principales del edificio y con el de torsión. El período de traslación en la dirección longitudinal siempre es mayor y disminuye su valor linealmente con el número de pisos según funciones que se corresponden aproximadamente con las fórmulas semiempíricas en los códigos sísmicos para edificios de mampostería. Para las variantes de 4 y 5 pisos al período mencionado anteriormente le sigue el de traslación en la dirección transversal, el cual no supera al de torsión en el caso de las variantes de 2 y 3 pisos. Los períodos en las direcciones principales dan aceleraciones de respuestas en la zona de resonancia del espectro de cálculo para suelos S2 de la norma sísmica cubana. Solo en el caso de las variantes de 2 pisos el período en la dirección transversal alcanza valores algo menores que el período crítico de 0,15 s del mencionado espectro de respuesta.

b) Formas propias de oscilación y participación modal

Para todas las variantes la forma propia fundamental de traslación en la dirección longitudinal está acoplada con la de torsión, por lo cual se alcanzan valores significativos de correlación modal entre estos modos, con resultados mayores para las variantes de 2 y 3 pisos. No obstante, las contribuciones del modo fundamental de torsión al cortante basal en la dirección longitudinal no alcanzan valores altos. Para la excitación sísmica en la dirección transversal las contribuciones mayores no están determinadas por el acoplamiento oscilatorio, ya que la forma propia fundamental de traslación en esa dirección no está acoplada con la de torsión. Según la contribución al cortante basal sería suficiente considerar las 5 primeras formas propias; sin embargo, para alcanzar la suma acumulativa exigida para la participación modal se consideraron 15 formas propias para aproximarse al 90 %. A pesar de esto para las variantes con menor número de pisos estos valores no son satisfechos, pero se demuestra que al incrementar el número de modos por encima de 15 no se incrementarán significativamente las contribuciones al cortante basal para las direcciones de excitación analizadas.

Método estático equivalente

a) Cortantes basales, peso total del edificio y coeficientes sísmicos

Los cortantes basales y cargas sísmicas en los pisos se obtienen también por el método estático equivalente. Debido a que casi todas las variantes para sus direcciones principales muestran períodos fundamentales en la zona de resonancia de suelos S2 y que se les confieren bajos niveles de ductilidad, la demanda sísmica quedará condicionada por las zonas sísmicas donde se ubicarían estas. Así, para la zona de mayor peligrosidad sísmica del país (ciudad de Santiago de Cuba), las variantes alcanzan una elevada demanda sísmica (coeficiente sísmico de 0,5); mientras que para las zonas 2B y 2A las demandas sísmicas son moderadas (coeficientes sísmicos de 0,33 y 0,25 respectivamente). Los cortantes basales para cada zona sísmica disminuyen linealmente con el número de pisos con poca variación por la disminución del peso total del edificio, alrededor de un 10 % en relación con las variantes aligeradas (Figura 1d). Los cortantes basales del análisis modal para ambas direcciones de la acción sísmica tienden a igualarse con los del método

estático equivalente para la disminución del número de pisos. De este modo, para las variantes de 5 pisos los cortantes basales del análisis modal son aproximadamente el 80 % de los obtenidos por el método estático equivalente, mientras que para las variantes de 2 pisos estos valores casi se igualan.

b) Evaluación de los desplazamientos horizontales extremos totales y relativos

Las variantes clasifican como regular a pesar de la irregularidad en el comportamiento estructural que causa la interacción con la losa de escalera. Los desplazamientos horizontales relativos cumplen cómodamente, para todas las variantes, con lo exigido en este reglamento para los edificios de viviendas y garantizan que no se produzcan efectos de segundo orden significativos, lo cual fue corroborado por los cálculos; asimismo, suponen la no existencia de daños en elementos no estructurales y mucho menos en los elementos estructurales de las edificaciones, en caso de que estas cumplan con el estado límite de resistencia para los niveles de peligro asumidos.

c) Reacciones en la base de la estructura

Los parámetros de control anteriores no permiten establecer con claridad un criterio que diferencie estas variantes por su comportamiento sísmico. Las reacciones de tracción en la base son un parámetro de control que refleja la magnitud de las demandas sísmicas y un indicador importante de riesgo sísmico, porque supone, además, incrementos considerables de las presiones en el suelo en la cara opuesta a donde estas se presentan.

El análisis modal muestra que para todas las variantes se presentan reacciones de tracción que dependerán mucho de la zona de ubicación de estas. Las reacciones de tracción varían considerablemente con el número de pisos y no varían significativamente al aligerar las cargas muertas (Tabla 1). La zona de propagación de las reacciones de tracción determina tres niveles bien definidos de comportamiento sísmico, que permiten diferenciar estas variantes (Tabla 2). Un nivel para el cual la zona de propagación de las reacciones de tracción es extensa, que aparece de color gris oscuro en la Tabla 2, y que abarca todo el contorno del edificio y parte de las cimentaciones interiores con valores extremos altos de reacciones de tracción (aparecen circulados en la Figura 2). Un nivel de transición para el cual la zona de propagación de las reacciones de

tracción abarca solo zonas críticas del contorno del edificio, con valores de reacciones de tracción mucho más bajos (color gris claro). Por último, un nivel para el cual la zona de propagación de las reacciones de tracción resulta muy limitada o prácticamente no existe, con valores de probables reacciones de tracción muy bajos (color blanco).

Se visualizan los nudos y zonas donde se presentan los valores extremos de reacciones de tracción para las combinaciones de cargas consideradas en el análisis modal. La diferencia del comportamiento en las direcciones principales del edificio se debe a que las excentricidades de los centros de masas con respecto a los centros de rotación de los pisos son significativamente mayores, medidas en la dirección perpendicular al eje longitudinal del edificio ($e_y=0,735$ m); estas alcanzan valores muy bajos cuando se miden en la dirección perpendicular al eje transversal del edificio ($e_x=0,065$ m).

III. Definición de las zonas críticas para monitorear tensiones normales y tangenciales

Un estudio de la variante de 5 pisos para la zona de mayor peligrosidad sísmica (Armero y Aliaga, 2007, Álvarez y Pérez, 2008) permitió precisar las zonas críticas, siendo para las tensiones normales verticales de compresión y tracción las ubicadas en los contornos de las fenestraciones, en el arranque de los elementos de mampostería en la unión a las vigas de cerramiento de hormigón armado y en la unión del zócalo de la cimentación con las paredes. Para las vigas de cerramiento las tensiones normales horizontales y tensiones tangenciales son altas en zonas que vinculan verticalmente las paredes (uniones), sobre todo en el elemento de fachada (elemento Ax), donde es mayor la concentración de esfuerzos en estas uniones, ya que la viga de cerramiento une verticalmente las paredes más estrechas de la edificación.

En el caso del elemento de fachada también aparecen valores altos de tensiones normales horizontales en zonas de la viga de cerramiento que vinculan horizontalmente paredes de mampostería estrechas a las cuales se asocian vanos anchos entre las mismas. Las vigas de cerramiento muestran las tensiones tangenciales mayores en zonas ubicadas sobre vanos estrechos cuando se vinculan horizontalmente dos elementos de mampostería muy anchos, como ocurre en los elementos transversales interiores.

Tabla 1. Reacciones de tracción máximas en la base calculadas por el Método de Análisis Modal

No.	Variante	Zona	Pisos	Combo 1			Combo 2		
				Tracc. Máx. (kN)	Nudos en tracción	% Total de nudos	Tracc. Máx. (kN)	Nudos en tracción	% Total de nudos
1	Conv	3	5	111,04	133	50,38	143,60	152	57,58
2	Conv	3	4	74,53	121	45,83	101,29	142	53,79
3	Conv	3	3	46,99	98	37,12	63,63	120	45,45
4	Conv	3	2	23,64	75	28,41	29,59	89	33,71
5	Conv	2B	5	55,95	79	29,92	68,86	117	44,32
6	Conv	2B	4	34,99	68	25,76	45,72	99	37,50
7	Conv	2B	3	19,10	43	16,29	25,68	73	27,65
8	Conv	2B	2	9,12	25	9,47	8,11	23	8,71
9	Conv	2A	5	28,41	40	15,15	31,49	83	31,44
10	Conv	2A	4	15,22	30	11,36	17,93	52	19,70
11	Conv	2A	3	5,19	16	6,06	6,71	22	8,33
12	Conv	2A	2	2,85	4	1,52	2,49	2	0,76
13	Alig	3	5	95,47	130	49,24	125,51	150	56,82
14	Alig	3	4	63,51	115	43,56	87,99	138	52,27
15	Alig	3	3	40,71	92	34,85	54,68	119	45,08
16	Alig	3	2	22,54	70	26,52	22,80	74	28,03
17	Alig	2B	5	47,09	76	28,79	59,76	114	43,18
18	Alig	2B	4	28,90	61	23,11	39,28	94	35,61
19	Alig	2B	3	16,16	35	13,26	21,62	63	23,86
20	Alig	2B	2	7,48	20	7,58	4,96	17	6,44
21	Alig	2A	5	22,91	36	13,64	26,88	77	29,17
22	Alig	2A	4	11,59	28	10,61	14,93	47	17,80
23	Alig	2A	3	3,88	12	4,55	5,08	18	6,82
24	Alig	2A	2	2,51	2	0,76	2,20	2	0,76

Fuente: autores

Tabla 2. Niveles de comportamiento sísmico según las reacciones de tracción en la base

No.	Variante	Zona	Pisos	No.	Variante	Zona	Pisos
1	Var_Conv	3	5	13	Var_Align	3	5
2	Var_Conv	3	4	14	Var_Align	3	4
3	Var_Conv	3	3	15	Var_Align	3	3
4	Var_Conv	3	2	16	Var_Align	3	2
5	Var_Conv	2B	5	17	Var_Align	2B	5
6	Var_Conv	2B	4	18	Var_Align	2B	4
7	Var_Conv	2B	3	19	Var_Align	2B	3
8	Var_Conv	2B	2	20	Var_Align	2B	2
9	Var_Conv	2A	5	21	Var_Align	2A	5
10	Var_Conv	2A	4	22	Var_Align	2A	4
11	Var_Conv	2A	3	23	Var_Align	2A	3
12	Var_Conv	2A	2	24	Var_Align	2A	2

Fuente: autores

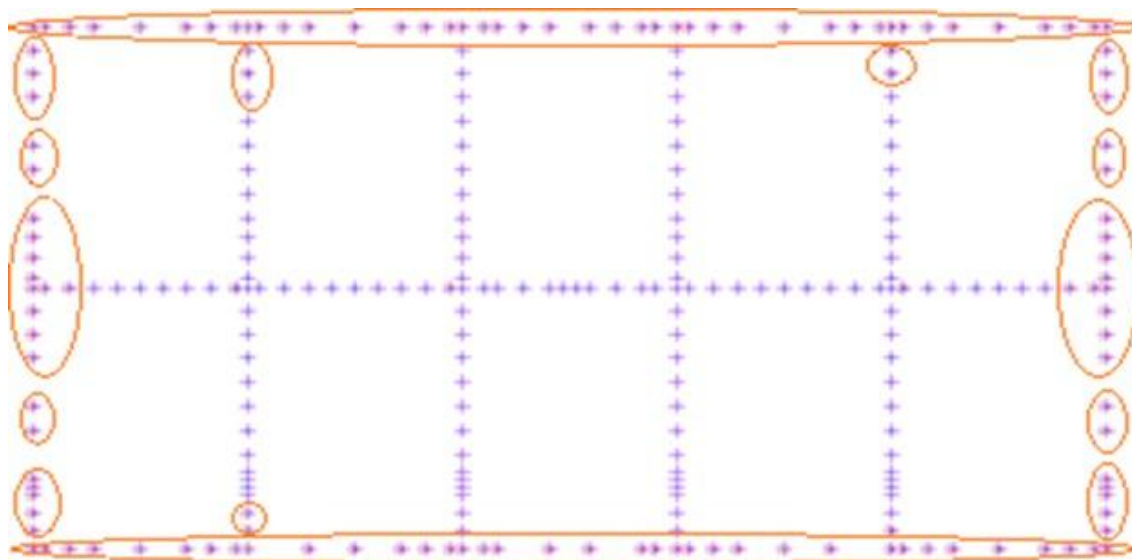


Figura 2. Reacciones de tracción en la base de suelo. Nivel de comportamiento que se corresponde con una extensa zona de propagación de las reacciones de tracción. Variante Convencional de 5 pisos en zona 3. Combo 1 (100% Csx + 30% Csy). Método de Análisis Modal.

Fuente: autores

Valores significativos de tensiones normales verticales y tensiones tangenciales aparecen también en la unión entre elementos de mampostería dispuestos ortogonalmente en las zonas próximas al contorno de la edificación. Otras

zonas importantes de concentración de tensiones normales (horizontales y verticales) y tensiones tangenciales se ubican en la conexión de la viga de hormigón armado para el descanso de la escalera con la pared de mampostería reforzada (elemento Bx). Se comprueba que las zonas críticas anteriores se mantienen en todos los pisos, pero decrecen las tensiones considerablemente para los pisos superiores. Así, las tensiones normales verticales de las paredes de mampostería en los dos últimos pisos prácticamente son de compresión. Solo en el elemento de fachada alcanzan valores notables las tensiones normales verticales de tracción y compresión, esencialmente en las esquinas de los vanos. Las tensiones tangenciales mantienen valores significativos hasta las vigas de cerramiento del penúltimo nivel. La definición de las zonas críticas de control de los elementos permitió confeccionar grupos para controlar las tensiones en las zonas críticas de las restantes variantes.

IV. Evaluación de parámetros de control locales

La evaluación de los parámetros de control locales precisa niveles de las tensiones, zonas donde alcanzan valores críticos y delimita fronteras de estas zonas. Contribuye a corroborar el diseño conceptual, simplifica el diseño estructural de las variantes y diferencia niveles de comportamiento estructural, permitiendo llegar a conclusiones y recomendaciones de las variantes que se construirán en cada una de las zonas sísmicas. Se definen como parámetros de control locales las tensiones normales y tangenciales extremas en zonas críticas de los elementos verticales de rigidización a cargas horizontales.

a) Testimonios de la evaluación de los parámetros de control locales

Una comparación de las tensiones normales verticales máximas en la mampostería del primer piso muestra que generalmente las tensiones de compresión son mayores que las de tracción, excepto en zonas muy puntuales de las esquinas de los vanos de elementos transversales interiores. Valores del mismo orden a los anteriores se registran en elementos transversales exteriores en zonas próximas a las esquinas del edificio y en las esquinas de vanos interiores del elemento longitudinal de fachada (Figura 3a y 3b). El análisis de las tensiones tangenciales muestra que los máximos absolutos

aparecen en los muros anchos interiores del elemento longitudinal de fachada (Figura 3c).

La evaluación de las tensiones normales máximas en las vigas de cerramento de hormigón armado del primer piso en la zona de los vanos y en los nudos mostró que las tensiones normales verticales de compresión están en el mismo orden que las de tracción. En los nudos las tensiones normales máximas de tracción alcanzan valores algo mayores a las de compresión. La evaluación de las tensiones normales horizontales máximas en los nudos y en los vanos de las vigas de cerramento muestra que estas son similares, debido a que las últimas aparecen en la conexión a los nudos. Las tensiones normales horizontales máximas en los nudos son significativamente mayores a las verticales de estos nudos. La evaluación de las tensiones tangenciales máximas en los nudos y zonas de los vanos de las vigas de cerramento muestra que, al igual que ocurre para las tensiones normales horizontales, alcanzan valores muy similares, pero se registran en elementos diferentes.

Las tensiones tangenciales máximas para zonas de vanos de las vigas de cerramento aparecen en los vanos estrechos de los elementos transversales interiores (vigas cortas de acoplamiento), mientras que las tensiones tangenciales máximas se registran en los nudos interiores del elemento de fachada, con dimensiones mucho menores a los nudos de los elementos transversales interiores y que conectan elementos con comportamiento estructural más cercano a pórticos flexibles de hormigón armado.

b) Testimonios obtenidos de la comparación de los parámetros de control locales evaluados para las variantes generadas

La evaluación de los parámetros locales confirma lo ya conocido de la evaluación de los parámetros globales: el comportamiento sísmico de las variantes generadas dependerá mucho de su zona de ubicación, variando en la misma proporción existente entre los valores de aceleraciones sísmicas de las diferentes zonas de ubicación, debido a que en casi todas las variantes para sus direcciones principales muestran coeficientes sísmicos determinados por períodos fundamentales en la zona de resonancia de suelos S2. Los valores de los parámetros locales controlados se reducen por lo menos en un 20 % por cada piso eliminado de la variante de 5 pisos.

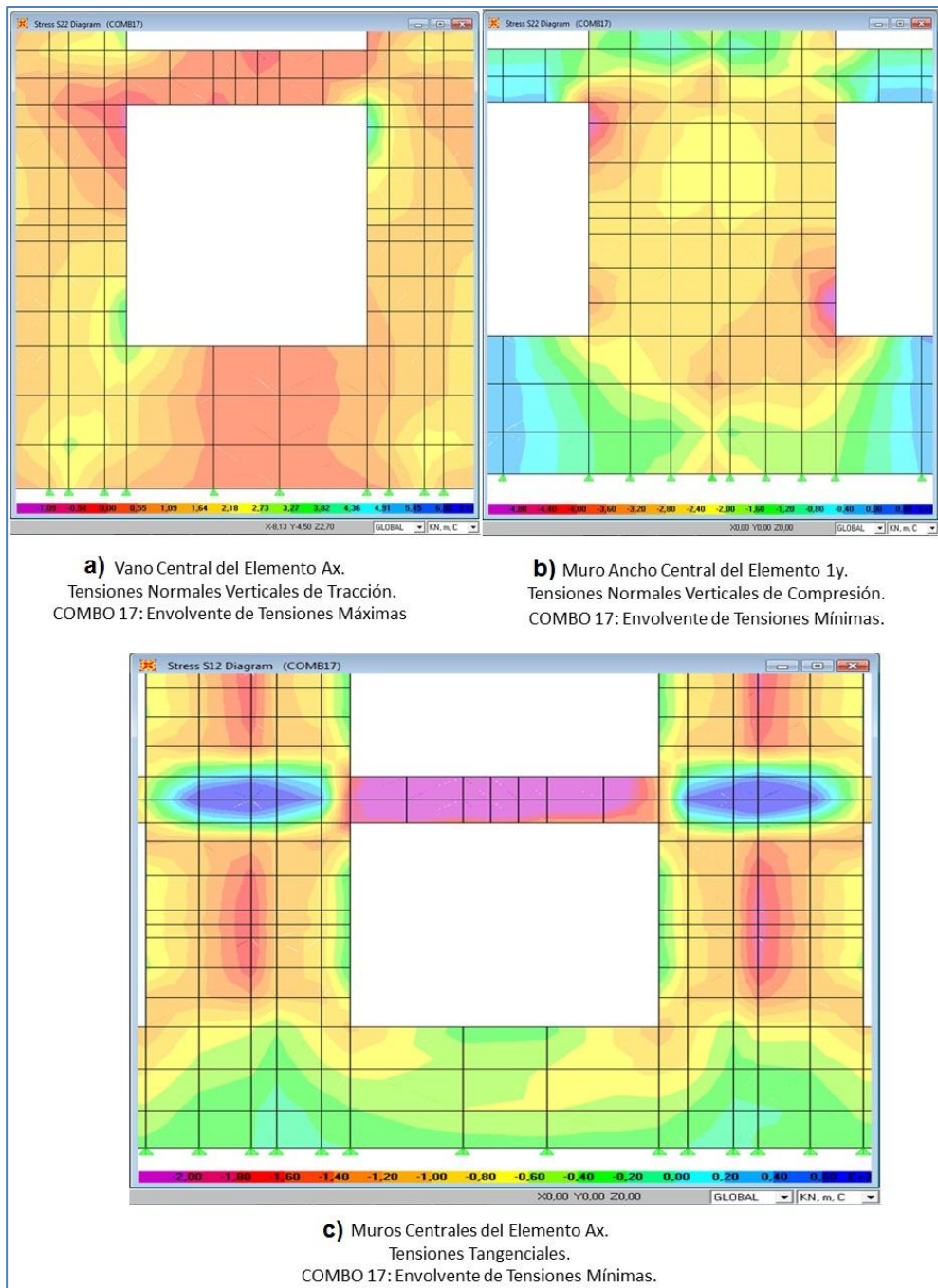


Figura 3. Evaluación de los parámetros de control locales

Fuente: autores

DISCUSIÓN

- 1) Debido a que las variantes muestran períodos fundamentales en la zona de resonancia de suelos S2, la demanda sísmica quedará condicionada por las zonas sísmicas y variará linealmente con el número de pisos.

- 2) Las medidas previstas de reducción de las cargas gravitatorias, aligerando las cargas muertas de los entrepisos y cubiertas, no modifican significativamente la demanda sísmica (solo alrededor de un 10 %).
- 3) Al disminuir el número de pisos los cortantes basales del análisis modal tienden a igualarse con los calculados por el método estático equivalente.
- 4) Los desplazamientos horizontales relativos cumplen cómodamente con lo exigido por la norma sísmica cubana para edificios de viviendas, garantizando la no existencia de daños en elementos estructurales o no estructurales.
- 5) La evaluación de las reacciones de tracción en el suelo permitió diferenciar las variantes generadas en tres niveles bien definidos de demanda sísmica.
- 6) La evaluación de los parámetros locales confirma que el comportamiento sísmico de las variantes depende mucho de su zona de ubicación, con la reducción de los parámetros locales controlados en un 20 % por cada piso eliminado de la variante de 5 pisos.
- 7) La evaluación de los parámetros locales caracteriza las zonas críticas de los elementos de mampostería reforzada y hormigón armado controlados.

CONCLUSIONES

- 1) El estudio de las variantes de edificios que se construirán en la zona suroriental de Cuba sobre suelos firmes (S2) demuestra que para un supuesto comportamiento cuasielástico de la mampostería reforzada se alcanzan altas demandas sísmicas condicionadas por sus períodos de oscilación fundamentales. Estos períodos, al mantenerse en la zona de resonancia de suelos S2, determina que las demandas sísmicas varíen linealmente con el número de pisos. Las medidas previstas de reducción de las cargas gravitatorias, aligerando las cargas muertas de los entrepisos y cubiertas, no modifican significativamente las altas demandas sísmicas.
- 2) El diseño estructural para estas altas demandas sísmicas garantizaría una baja probabilidad de existencia de daños en elementos estructurales o no estructurales, ya que los desplazamientos horizontales relativos cumplen cómodamente con lo exigido por la norma sísmica cubana para edificios de viviendas.

- 3) Las reacciones de tracción en el suelo se muestran como un parámetro global discriminante al permitir diferenciar las variantes generadas en tres niveles bien definidos de demanda sísmica. Así, no sería recomendable construir variantes de 5 pisos en la ciudad de Santiago de Cuba (Zona 3B) ni en la zona de transición Zona 2B, donde pudieran construirse variantes de hasta 4 pisos. Solo en la Zona 2A (Ciudad de Bayamo) sería recomendable construir variantes de 5 pisos. Para la ciudad de Santiago de Cuba parecen ser recomendables edificaciones de mampostería reforzada hasta 3 pisos, con un diseño sismorresistente más riguroso que para las variantes ubicadas en las restantes zonas.
- 4) La evaluación de los parámetros locales permitió identificar las zonas críticas de los elementos de mampostería reforzada y hormigón armado controlados. Esto facilitará un posterior diseño estructural sismorresistente diferenciado de las variantes estudiadas, donde las zonas críticas exigen no solo de una cuantía de refuerzo que se corresponda con las altas demandas sísmicas, sino también un detallado constructivo conforme a estas demandas (diseño conceptual).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (1999). *Curso sobre diseño y construcción sismorresistente de estructuras*. México D.F.: CENAPRED. http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/374/1/images/curso_dcse.pdf

Fundación ICA, A.C. (Ed.). (1999). *Edificaciones de mampostería para vivienda*. México D. F.: Fundación ICA. A.C. <http://www.fundación-ica.org.mx>

México. Gobierno del Distrito Federal (6 de octubre, 2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. En *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Décimo cuarta época, 1(103-BIS) (pp. 1-284). <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/gaceta-oficial-df-2004-tomo-1.pdf>

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (1997). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 Título*

D-Mampostería Estructural. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis). (2001). *Norma Venezolana Covenin 1756-1:2001. Edificaciones sismorresistentes*. Caracas: Fondonorma. <https://es.slideshare.net/pp61/covenin-a-1756-2001>

Comité Européen de Normalisation (CEN) (2005) *Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, EN 1996-1-1*. Brussels, Belgium. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1996.1.1.2005.pdf>

American Concrete Institute (ACI) (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. Comité ACI 318. https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf

Paulay, T. & Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*. New York: John Wiley & Sons.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1999). *NC 46:1999: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana: autor.

<https://www.eird.org/cd/acs/Espanol/EvalCodi/HablaEsp/Sismos/CUBAecs.pdf>

Peña, E. (2011). *Estudio de Variantes de Edificios de Viviendas de Mampostería Reforzada en Zonas Sísmicas* (Trabajo de Diploma no publicado). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Álvarez Deulofeu y E.R., Peña, E. (2012). *Estudio de Variantes de Edificios de Viviendas de Mampostería Reforzada en Zonas Sísmicas*. En SISMOS 2012. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Álvarez Deulofeu, E.R. (1994). *Erdbebensichere Konstruktion rahmen- und scheibenstabilisierter Hochhaeuser* (tesis doctoral). HAB-Weimar. Weimar.

Zienkiewicz, O.C. & Taylor R.L. (1989). *The Finite Element Method* (4th Edition), (Vol.1). London: McGraw-Hill.

Zienkiewicz, O.C. & Taylor R.L. (1991). *The Finite Element Method* (4th Edition), (Vol. 2). London: McGraw-Hill.

Armero, R. Y. y Aliaga, O. (2007). *Edificaciones sismorresistentes de viviendas rigidizadas a través de muros de mampostería reforzada* (Trabajo de Diploma). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

Álvarez Deulofeu, E.R. y Pérez Díaz, Y. (2008). Comportamiento estructural de edificios de viviendas de mampostería reforzada en zonas de alta peligrosidad sísmica. *Revista Ingeniería Civil*, 149, 141-153.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2572777>

Recibido: 12 de enero de 2019

Aprobado: 24 de abril de 2019