

Comportamiento no lineal de estructuras de concreto celular de autoclave diseñadas con diferentes factores de reducción de fuerzas sísmicas

Varela Rivera, J. L.¹, Bagundo Tec, M. R.² y Fernández Baqueiro, L. E.³

Recibido: 6 de marzo de 2007 – Aceptado: 18 de julio de 2007

RESUMEN

Se evalúa el comportamiento no lineal de tres estructuras a base de muros de concreto celular de autoclave (AAC) sujetas a sismos representativos de suelos firmes del Distrito Federal. Las estructuras de AAC se diseñaron utilizando diferentes factores de reducción de fuerzas sísmicas con el propósito de evaluar su influencia en las máximas demandas de ductilidad de desplazamiento y de desplazamiento relativo. Las máximas demandas se obtuvieron de análisis no lineales utilizando sismos representativos de suelos firmes del Distrito Federal y modelos de histéresis obtenidos de pruebas de laboratorio. Los sismos se escalaron para que sus correspondientes espectros de respuesta elásticos representaran en promedio al espectro de diseño del lugar. Con base en los resultados de los análisis no lineales y asumiendo una capacidad de ductilidad de desplazamiento de 3.5, se obtiene que un factor de reducción de fuerzas sísmicas de 1.5 y un factor de amplificación de desplazamientos de 2.0 son adecuados para el diseño de estructuras de AAC en suelos firmes en el Distrito Federal.

Palabras clave: concreto celular de autoclave, factor de reducción de fuerzas sísmicas, factor de amplificación de desplazamientos, comportamiento no lineal, ductilidad de desplazamiento.

Non linear behavior of autoclaved aerated concrete structures designed using different seismic force-reduction factors

ABSTRACT

The behavior of three Autoclaved Aerated Concrete (AAC) shear-wall structures subjected to earthquake ground motions representative of firm soils of Mexico City is evaluated. The AAC structures were designed using different seismic force-reduction factors to evaluate their influence on the maximum displacement ductility and drift ratio demands. The maximum demands were obtained from nonlinear analyses carried out using earthquake ground motions, representative of the Mexico City firm soil, together with hysteretic models obtained from laboratory tests results. Earthquake ground motions were scaled by making the corresponding response spectra to represent in average the design spectrum. Based on the nonlinear analyses results and assuming a maximum displacement ductility capacity of 3.5, a value of the force reduction factor of 1.5 and a value of the displacement amplification factor of 2.0 are adequate for the seismic design of AAC structures in firm soils from Mexico City.

Keywords: Autoclaved Aerated Concrete, force reduction factor, displacement amplification factor, nonlinear behavior and displacement ductility.

¹ Profesor Investigador, Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. E-mail: vrivera@uady.mx

² Maestro en Ingeniería opción Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.

³ Profesor Investigador, Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. E-mail: luis.fernandez@uady.mx

INTRODUCCIÓN

El concreto celular de autoclave o por sus siglas en inglés AAC (Autoclaved Aerated Concrete) es un concreto ligero elaborado con cemento, cal, arena y agua, combinados con un agente expansivo. La construcción de muros de AAC se realiza por medio de bloques o paneles prefabricados que se unen por medio de un mortero adhesivo de junta delgada. Las propiedades de los bloques y paneles de AAC se especifican en las normas ASTM C1386 (1998) y ASTM C1452 (2000), respectivamente. El acero de refuerzo por flexión en los muros de AAC consiste generalmente en barras de grado 60 que se colocan en perforaciones de los bloques o paneles. El acero de refuerzo puede estar en los extremos del muro o puede estar uniformemente distribuido a lo largo de su longitud. Las estructuras a base de muros de AAC en el Distrito Federal no están contempladas actualmente como un sistema estructural dúctil, ya que en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-DS) (Gaceta Oficial del D. F. 2004a) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-04) no se especifican valores de los factores de reducción de fuerzas sísmicas mayores que uno para este tipo de material. En general la construcción de dichas estructuras está limitada principalmente a zonas no sísmicas de nuestro país (CONTEC MEXICANA, 2004 y E-CRETE, 2004). Los factores de reducción de fuerzas sísmicas para cualquier sistema estructural dependen en general de la ductilidad de desplazamiento, el período natural de la estructura, las condiciones del suelo, la sismicidad del lugar y la sobrerresistencia de las estructuras (Miranda y Bertero, 1994, Uang, 1991 y Nassar y Krawinkler, 1991). Por lo anterior, es importante evaluar la respuesta no lineal de estructuras de AAC para definir valores apropiados de factores de reducción de fuerzas sísmicas.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento no lineal de tres estructuras de AAC sujetas a sismos representativos de suelos firmes del Distrito Federal con el propósito de obtener un factor de reducción de fuerzas sísmicas y un factor de amplificación de desplazamientos consistentes con los propuestos en las NTC-DS para otros materiales y sistemas estructurales. Se obtienen dichos factores empleando el formato descrito en las NTC-DS y el procedimiento iterativo desarrollado por Varela et al. (2006). En este trabajo las estructuras de AAC se diseñaron utilizando diferentes factores de reducción de fuerzas sísmicas con el propósito de evaluar su influencia en las máximas demandas de ductilidad de desplazamiento y de desplazamiento relativo. Las máximas demandas se obtuvieron de análisis no lineales utilizando sismos representativos de suelos

firmes del Distrito Federal y modelos de histéresis obtenidos de pruebas de laboratorio. Los sismos se escalaron para que sus correspondientes espectros de respuesta elásticos representen en promedio al espectro de diseño del lugar. Con base en los resultados de los análisis no lineales y asumiendo una capacidad de ductilidad de 3.5 se obtuvo que un factor de reducción de fuerzas sísmicas de 1.5 y un factor de amplificación de desplazamientos de 2.0 son adecuados para el diseño de estructuras de AAC en suelos firmes en el Distrito Federal.

METODOLOGÍA

El procedimiento general utilizado en este trabajo es el siguiente: (1) se seleccionaron tres estructuras a base de un muro de AAC en volado (Figura 1); (2) se calculó el espectro de diseño para suelos firmes utilizando las NTC-DS; (3) se realizaron análisis modales espectrales a las estructuras del paso 1, utilizando el espectro de diseño del paso 2 y un factor de reducción de fuerzas sísmicas (Q') igual a uno. En este paso se obtuvieron las demandas de momento flexionante y fuerza cortante para las estructuras de AAC; (4) se seleccionó y escaló un grupo de sismos para que representen a las fuerzas definidas por el espectro de diseño del paso 2; (5) se seleccionó una estructura del paso 1 y un sismo del paso 4; (6) se realizaron análisis no lineales para obtener las máximas demandas de ductilidad de desplazamiento y de desplazamiento relativo de la estructura de AAC. En este paso se asume un factor de reducción de fuerzas sísmicas mayor a uno y se reduce la capacidad a flexión de la estructura de AAC calculada en el paso 3. Se repite este paso para distintos valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas; (7) se repiten los pasos 5 y 6 utilizando otro sismo y (8) se repite todo el procedimiento para otra estructura del paso 1.

Selección y diseño de las estructuras

Se seleccionaron estructuras a base de un muro de AAC en volado de 3, 4 y 5 niveles (Figura 1). Se seleccionaron estructuras de hasta cinco niveles ya que es probablemente el mayor número de niveles para una estructura de AAC debido a su baja resistencia a compresión comparada con la del concreto. Se asumió que cada estructura de AAC forma parte de un edificio cuyo funcionamiento va a ser el de un hotel. Se consideró que las estructuras son regulares en planta, por tanto se modelaron como estructuras en dos dimensiones. Se consideró que las losas de entrepiso y azotea están formadas por paneles de AAC de 0.25 m de espesor, los muros de AAC son de 6.1 m de largo por 3 m de alto y 0.25 m de espesor.

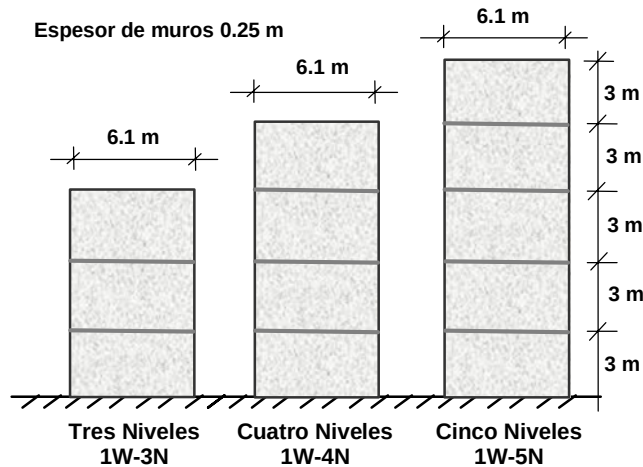


Figura 1. Estructuras a base de muros de AAC en volado

Se consideraron cargas vivas de 90, 150 y 70 kg/m² para las habitaciones, pasillos y azotea, respectivamente. Las cargas vivas fueron tomadas de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones del RCDF-04 (Gaceta Oficial del D. F. 2004b). El peso volumétrico de 0.8 ton/m³ y la resistencia a compresión de 61 kg/cm² del AAC fueron tomados de la norma ASTM C1452 para un material clase AAC-6. El módulo de elasticidad de 26.52 ton/cm² se determinó de acuerdo a la expresión propuesta en el Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS

402-05) (MSJC, 2005). Se asumió una relación de Poisson de 0.20 (RILEM, 1993) y se consideró un peso de instalaciones (plafón, instalaciones eléctricas, ductos de aire acondicionado, etc.) de 39 kg/m². Utilizando las propiedades y dimensiones de los muros y losas de AAC definidas anteriormente, se obtuvieron los pesos totales sobre los muros de AAC de las estructuras. Se consideró un ancho tributario de 6.10 m el cual corresponde a la longitud máxima de un panel de AAC (Figura 2). Los pesos obtenidos para los entrepisos y la azotea de las estructuras de AAC fueron de 21.6 ton y 16.2 ton, respectivamente.

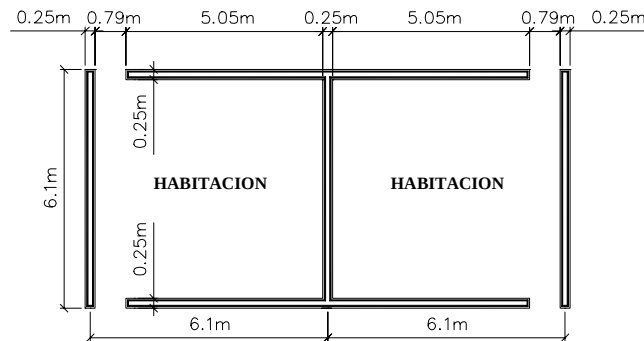


Figura 2. Módulo de habitaciones de hotel tipo utilizado para obtener los pesos de las estructuras

Para diseñar las estructuras de AAC ubicadas en suelo firme se utilizaron las expresiones del Capítulo 4 de las NTC-DS utilizando un factor de reducción de fuerzas sísmicas (Q') igual a uno. Los análisis modales espectrales se realizaron utilizando el programa de computadora SAP2000 (Computers and Structures, 2000). En dichos análisis se consideró un momento de inercia y un área de cortante reducidas para los muros de AAC para considerar el posible agrietamiento. El momento de inercia reducido fue igual al 40% del momento de inercia de la sección

transversal y el área de cortante reducida fue igual al 40% del área de cortante de la sección transversal (Varela, 2006). El periodo natural, el cortante basal y el momento de volteo para cada una de las estructuras de AAC se presentan en la Tabla 1. En este trabajo se asume que la capacidad a flexión de la estructura es igual a la demanda de momento en la base del muro, esto es, no se propone una cantidad o distribución del acero de refuerzo por flexión, ya que esto podría introducir sobrerresistencia, lo cual no se considera en este trabajo.

Tabla 1. Periodos de las estructuras, cortantes basales y momentos de volteo de las estructuras de AAC seleccionadas.

Estructura	Período estructura Tn (s)	Cortante basal (ton)	Momento de volteo (ton-cm)
3-Niveles	0.25	7.51	5,196
4-Niveles	0.40	9.69	8,721
5-Niveles	0.58	11.91	13,151

Selección de sismos

Para realizar los análisis no lineales, se utilizaron sismos reales obtenidos de la Base Mexicana de Sismos Fuertes Volumen II (SMIS, 2000). En la selección de los sismos se tomaron en cuenta aquellos registrados en diferentes fechas y diferentes estaciones sísmicas. Se seleccionaron 60 sismos

registrados en estaciones localizadas en suelo firme que de preferencia tuvieran aceleraciones máximas del suelo (a_{max}) mayores a 4 cm/s^2 (Reinoso y Ordaz, 1999) y magnitudes mayores a 5. Se escogieron, utilizando un proceso aleatorio, 10 sismos del grupo de 60 previamente seleccionado (Tabla 2).

Tabla 2. Sismos reales registrados en suelo firme (zona I)

Sismo real	#	Fecha	a_{max}	Tipo de suelo
CUP1-94-05-23-C3	S1	23/05/94	5.26	Roca
CUP1-94-12-10-C3	S2	10/12/94	5.98	Roca
CUP3-90-05-31-C3	S3	31/05/90	5.14	Roca
CUP3-93-10-24-C2	S4	24/10/93	4.31	Roca
CUP4-96-07-15-C3	S5	15/07/96	4.22	Roca
CUP4-97-01-11-C3	S6	11/01/97	5.86	Roca
TE07-94-12-10-C3	S7	10/12/94	3.93	Terreno Firme
TE07-97-01-11-C1	S8	11/01/97	4.21	Terreno Firme
TP13-90-05-31-C1	S9	31/05/90	5.11	Terreno Firme
TP13-93-10-24-C1	S10	24/10/93	3.99	Terreno Firme

En la Figura 3 se presenta el espectro de diseño sin reducir por ductilidad para suelo firme especificado en el Capítulo 4 de las NTC-DS y los espectros de respuesta elásticos de los 10 sismos de la Tabla 2. Los

puntos marcados con un rombo sobre el espectro de diseño corresponden a los periodos de las tres estructuras de AAC en estudio.

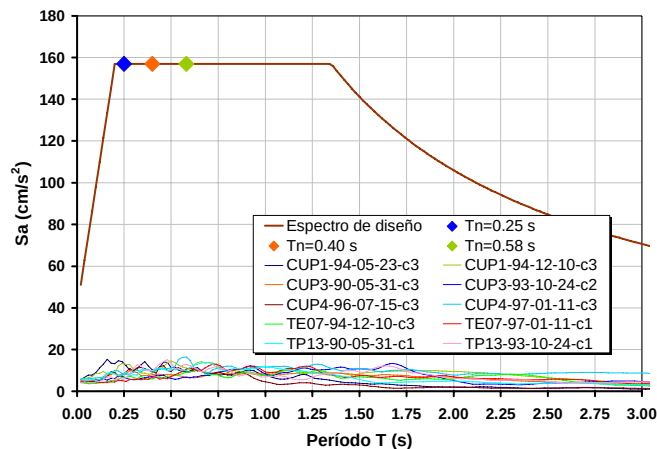


Figura 3. Espectro de diseño y espectros de respuesta elásticos de sismos registrados en suelo firme

Escalado de sismos

Debido a que las aceleraciones de los espectros de respuesta elásticos resultan pequeñas comparadas con las del espectro de diseño correspondiente, el grupo de sismos se escaló para que las aceleraciones de los correspondientes espectros de respuesta elásticos representen en promedio al espectro de diseño para los períodos naturales de las estructuras. Para dicho grupo de 10 sismos se utilizó un solo factor de escala

igual a 18.56 (Figura 4). Se selecciona este tipo de escalado ya que los espectros de respuesta de los sismos representan mejor a los espectros de diseño; sin embargo, al emplear este tipo de escalado se pueden obtener demandas de ductilidad de desplazamiento diferentes a uno de los análisis no lineales de las estructuras de AAC diseñadas con una factor de reducción de fuerzas sísmicas igual a uno.

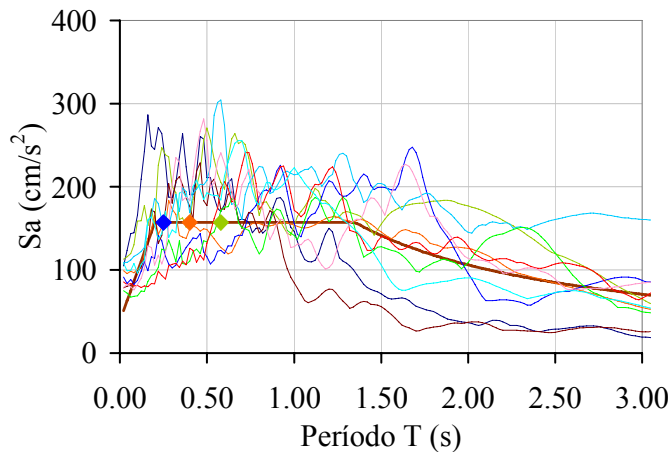


Figura 4. Espectros de respuesta elásticos de sismos escalados (suelo firme)

Análisis no lineales

Para realizar los análisis no lineales de las estructura de AAC se utilizó el programa de cómputo CANNY99 (Kangning Li, 1999), en el cual los muros se idealizan mediante dos barras rígidas localizadas en los extremos superior e inferior, dos resortes no lineales de flexión, un resorte no lineal de cortante y un resorte axial (Figura 5). Para representar el

comportamiento de los resortes no lineales de flexión y de cortante se usó el modelo CA7 y para el correspondiente al del resorte axial el modelo elástico EL1 (Kangning Li, 1999). El comportamiento del resorte no lineal a flexión está definido por una curva momento-rotación y el comportamiento del resorte no lineal a cortante por una curva fuerza-desplazamiento.

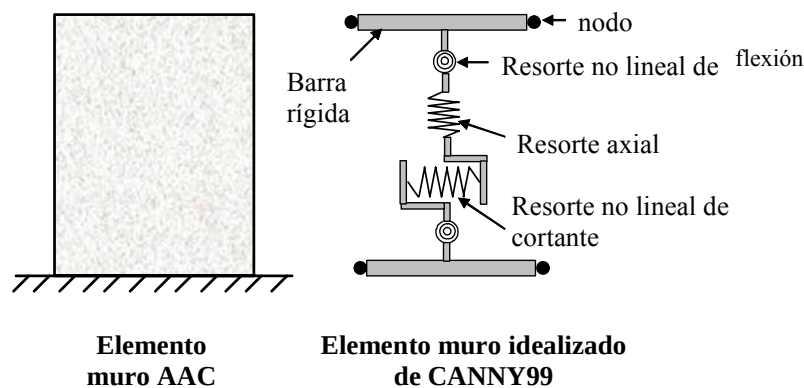


Figura 5. Elemento muro de AAC y elemento idealizado de CANNY99

Los parámetros utilizados para definir el comportamiento histerético de los resortes no lineales de flexión y cortante fueron basados de pruebas de laboratorio de muros de AAC en volado sujetos a cargas cíclicas reversibles (Varela, 2003 y Tanner,

2003). En el primer trabajo se propuso para el resorte no lineal de flexión: (1) una rigidez inicial reducida (K_{of}) calculada con el módulo de elasticidad del AAC y un momento de inercia igual al 40% del momento de inercia de la sección transversal gruesa del muro

de AAC, (2) una rigidez después de la fluencia del acero de refuerzo a flexión (K_y) calculada usando el 2% de la rigidez inicial calculada con las propiedades de la sección transversal gruesa del muro de AAC, y (3) una rigidez a la descarga (K_u) definida por el parámetro histerético θ igual a uno. Para el resorte no lineal de cortante se consideró: (1) una rigidez inicial reducida (K_{os}) calculada con el módulo de cortante del AAC y un área transversal igual al 40% del área de cortante de la sección transversal del muro de AAC, (2) una rigidez a cortante después del agrietamiento del muro (K_{AAC}) igual al 1% de la rigidez a cortante inicial calculada con las propiedades de la sección transversal gruesa del muro de AAC, (3) una rigidez a la descarga (K_u) definida por el parámetro histerético θ igual a uno y (4) una degradación de resistencia definida por el parámetro histerético λ_u igual a 0.30.

RESULTADOS

Utilizando el procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron las demandas máximas de ductilidad de desplazamiento de las estructura de AAC. En dicho procedimiento, se asumieron valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas (Q') de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 y se determinó el intervalo en el cual se encuentra comprendido una demanda ductilidad de desplazamiento de 3.5; una vez identificado dicho

intervalo, se procedió a realizar iteraciones para determinar el valor de Q' para el cual se obtiene una demanda de ductilidad de 3.5. Se verificó que las demandas de desplazamiento relativo de las estructuras de AAC fueran todas menores que 1%, ya que este valor representa la capacidad de desplazamiento relativo de estructuras de AAC. La ductilidad de desplazamiento de 3.5 y el desplazamiento relativo de 1% usados en este trabajo fueron tomados de pruebas experimentales efectuadas a muros de AAC sujetos a cargas laterales reversibles. Los dos valores anteriores son valores conservadores asociados al colapso de muros de AAC (Varela, 2003; Tanner, 2003). En este trabajo la ductilidad de desplazamiento se define como el desplazamiento máximo de la azotea entre el desplazamiento de fluencia correspondiente y el desplazamiento relativo máximo como el desplazamiento máximo de la azotea entre la altura de la estructura de AAC. En la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 se presentan las demandas de ductilidad de desplazamiento asociadas a diferentes valores de Q' para las estructuras de AAC de 3, 4 y 5 niveles, respectivamente. En la Tabla 6 se presentan los valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas Q' asociados a una capacidad de ductilidad de desplazamiento de 3.5.

Tabla 3. Demandas de ductilidad para la estructura de AAC de 3 niveles

Q'	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1.00	1.44	1.73	1.00	1.00	1.00	1.11	1.00	1.00	1.16	1.00
1.50	2.83	2.72	2.15	1.27	2.98	3.57	1.50	1.00	2.09	1.24
2.00	4.97	15.03	5.42	1.88	5.90	16.02	3.17	1.32	3.38	11.51
2.50	--	--	--	4.60	--	--	5.06	15.17	5.33	--

Tabla 4. Demandas de ductilidad para la estructura de AAC de 4 niveles

Q'	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1.00	1.21	1.00	1.00	1.00	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37
1.50	2.52	4.97	2.03	1.32	2.40	4.79	1.16	1.00	2.57	3.55
2.00	6.18	--	3.59	2.41	3.93	--	2.28	5.87	5.09	3.73
2.50	--	--	--	4.98	--	--	6.84	--	--	--

Tabla 5. Demandas de ductilidad para la estructura de AAC de 5 niveles

Q'	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1.00	1.00	1.57	1.00	1.00	1.00	1.53	1.13	1.45	1.44	1.51
1.50	2.40	3.32	1.00	1.57	1.73	3.86	1.93	4.30	2.78	2.98
2.00	3.19	5.94	2.60	4.64	2.95	--	3.23	--	4.49	3.61
2.50	4.25	--	5.61	--	4.17	--	--	--	--	--

Tabla 6. Factores Q' asociados a la capacidad de ductilidad de desplazamiento de 3.5

Estructura	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Promedio
3-niveles	1.55	1.75	1.70	2.37	1.60	1.50	2.10	2.17	1.75	1.71	1.82
4-niveles	1.63	1.25	2.00	2.43	1.90	1.29	2.12	1.90	1.75	1.45	1.77
5 niveles	2.20	1.55	2.20	1.80	2.30	1.48	2.10	1.40	1.70	2.00	1.87

Para estructuras ubicadas en suelos firmes, las NTC-DS permiten estimar el desplazamiento máximo esperado durante un sismo severo como el producto del desplazamiento elástico, obtenido de un análisis modal espectral utilizando fuerzas sísmicas reducidas, por un factor de comportamiento sísmico Q . Para las estructuras de AAC estudiadas el valor del factor Q es igual al factor Q' debido a que los periodos naturales de las estructuras de AAC se encuentran ubicados en la parte plana del espectro de diseño (Figura 4). Utilizando los sismos y las estructuras de AAC se calcularon factores de amplificación de desplazamientos individuales (FA_{Δ}), definidos como la relación entre el desplazamiento máximo no lineal

(Δ_{max}) y el desplazamiento elástico (Δ_y) calculados con fuerzas sísmicas reducidas. Los desplazamientos máximos (Δ_{max}) se obtuvieron de los análisis no lineales utilizando un valor de Q' de 1.50. A su vez, los desplazamientos elásticos (Δ_y) se obtuvieron de análisis elásticos modales espectrales lineales con fuerzas sísmicas de diseño reducidas con un valor de Q' de 1.5. Se asumió un valor de Q' de 1.5 conservadoramente basado en los resultados promedio presentados en la Tabla 6. En la Tabla 7 se presentan los valores de FA_{Δ} obtenidos de los análisis no lineales para las estructuras de AAC asumiendo un valor de Q' de 1.5.

Tabla 7. Factores de amplificación de desplazamientos para las estructuras de AAC

Estructura	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Promedio
3-niveles	2.61	2.28	1.90	1.13	2.07	2.89	1.33	0.82	1.98	1.13	1.82
4-niveles	2.41	4.32	1.78	1.22	2.17	4.63	1.11	1.33	2.53	3.55	2.51
5 niveles	2.25	2.60	1.42	1.43	1.56	3.27	1.86	3.95	2.51	2.87	2.37

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los factores de reducción de fuerzas sísmicas obtenidos en este trabajo están basados en la capacidad de ductilidad de desplazamiento de 3.5 (Tabla 6), los cuales son siempre menores a los obtenidos para la capacidad de desplazamiento relativo de 1%. Los valores de las demandas de ductilidad de desplazamiento presentados en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 son en general mayores que los correspondientes valores de Q' asumidos. Dicha diferencia aumenta como el valor de Q' aumenta. Los valores promedio de Q' de la Tabla 6 son en general similares entre sí para las tres estructuras estudiadas. Basado en los valores de Q' promedio de la Tabla 6, se observa que un valor de Q' de 1.5 es adecuado para el diseño sísmico de estructuras de AAC en suelos firmes del Distrito Federal. De acuerdo con las NTC-DS el valor de Q' anterior resulta en un valor de Q de 1.5.

Los valores promedio del factor de amplificación de desplazamiento (FA_{Δ}) de la Tabla 7 son en general mayores que los correspondientes valores de Q' promedio presentados en la Tabla 6. Este resultado indica que para las estructuras estudiadas, no se puede

usar el factor Q de 1.5 para amplificar desplazamientos como especifica las NTC-DS, ya que se obtendrían desplazamientos máximos probables menores que los valores promedio presentados en la Tabla 7. Basado en los valores promedio de la Tabla 7, se observa que un valor de FA_{Δ} de 2 es adecuado para el diseño sísmico de estructuras de AAC en suelos firmes del Distrito Federal.

CONCLUSIONES

Basado en los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se concluye que un factor de comportamiento sísmico de 1.5 y un factor de amplificación de desplazamientos de 2.0 son adecuados para el diseño sísmico de estructuras a base de muros de concreto celular de autoclave en suelos firmes del Distrito Federal.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte de la Secretaría de Educación Pública que por medio de su Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP/103.5/04/769) brindó el apoyo económico para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM C 1386 (1998): Standard Specification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) Wall Construction Units, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM C1452 (2000). "Standard Specification for Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Elements, American Society for Testing and Materials", West Conshohocken, PA.

Computers and Structures (2000). SAP2000 Nonlinear V7.10, 1999, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

CONTEC MEXICANA (2004). Contec Mexicana S.A. de C.V., Planta en Garza García, N.L., México, página electrónica: www.contec.com.mx, recuperado el 3 de febrero de 2004.

E-CRETE (2004). E-Crete, 2151 East Broadway Road #115, Tempe AZ, página electrónica: www.e-crete.com, recuperado el 5 de febrero de 2004.

Gaceta Oficial del D. F. (2004a), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo".

Gaceta Oficial del D. F. (2004b), "Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones".

Kangning Li (1999). "A 3-Dimensional Nonlinear Static / Dynamic Structural Analysis Program", CANNY Structural, Vancouver, Canada.

Miranda, E. y Bertero, V. (1994). "Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design", Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 10, No. 2, pp. 357-379.

MSJC (2005). "Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530.1-05/ASCE 5-05/TMS 402-05)", Masonry Standards Joint Committee.

Nassar, A. A. and Krawinkler, H. (1991). "Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems", Report No. 95, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, CA.

Reinoso E. y Ordaz M. (1999). "Spectral Ratios for Mexico City from Free-Field Recordings", Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 15, No. 2, pp. 273-295, Oakland, CA.

RILEM (1993). "Autoclaved Aerated Concrete: Properties Testing and Design", RILEM Recommended Practice, RILEM Technical Committees 78-MCA and 51-ALC, E & FN Spon, London.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, SMIS (2000). "Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, Volumen II", Disco Compacto, México Distrito Federal.

Tanner J. E. (2003). "Design Provisions for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Structural Systems", Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, The University of Texas at Austin.

Uang C-M (1991). "Establishing R (or (Rw) and Cd Factors for Building Seismic Provisions", Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 1, pp 19-28, American Society of Civil Engineers, New York, N. Y.

Varela J. L. (2003). "Development of R and Cd Factors for the Seismic Design of AAC Structures", Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, The University of Texas at Austin.

Varela J. L, Tanner J. E. and Klingner R. (2006) "Development of Seismic Force-Reduction and Displacement Amplification Factors for Autoclaved Aerated Concrete Structures", Earthquake Spectra, Vol. 22, No. 1, pp. 267-286.