

VERIFICACIÓN DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD DE HAZUS PARA PUERTO RICO

Ricardo R. López¹, Luis E. Suárez², Juan C. Herrera³ y Abimael Santiago⁴

RESUMEN: Recientemente el gobierno federal de los Estados Unidos solicitó a todos los estados y territorios que implementaran el programa de computadoras HAZUS para estimar en forma global los posibles daños que pueden ser ocasionados por un terremoto en su territorio. El Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico realizó un estudio para evaluar si las curvas de capacidad utilizadas por HAZUS para para el estimado de daños estructurales son aplicables para edificios típicos de acero y hormigón armado de Puerto Rico. Este artículo resume la metodología usada para comparar las curvas de HAZUS y las obtenidas usando análisis no lineal para varios edificios representativos. Un total de 29 edificios se agruparon en 12 categorías predeterminadas y se modelaron en 2 dimensiones para determinar su capacidad a carga lateral. Se usó el programa comercial SAP2000 - nonlinear para realizar los cálculos. Las curvas de capacidad obtenidas se graficaron junto con las implícitas en HAZUS para compararlas. Finalmente se concluyó que los edificios analizados pueden ser representados por las categorías de HAZUS. Puede suponerse conservadoramente que los edificios han sido diseñados al llamado "Moderate Code Design Level", o nivel de diseño moderado, aunque muchos de los edificios más modernos tienen capacidad máxima representativa del "High Code Design Level", o nivel de diseño alto.

INTRODUCCIÓN

El gobierno federal de los Estados Unidos, por medio de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) ha solicitado a todos los estados y territorios que utilicen el programa de computadoras HAZUS para evaluar el daño esperado en su área, de ocurrir un terremoto. Todos los edificios deben ser asignados a una de las 36 clasificaciones estructurales que fueron seleccionadas por los diseñadores de HAZUS. Como estas clasificaciones fueron desarrolladas teniendo en cuenta edificios típicos de los Estados Unidos, es deseable conocer si los edificios comúnmente construidos en Puerto Rico pueden ser representados por las clasificaciones existentes, y bajo qué condiciones. El estudio que se describe en este artículo tiene como objetivo verificar si las curvas de capacidad de HAZUS son apropiadas para Puerto Rico.

HAZUS contiene para cada una de las 36 clasificaciones estructurales una serie de curvas de capacidad que reflejan la resistencia del edificio a cargas laterales. Dichas curvas varían en base al nivel de diseño del edificio, y permiten variación en rigidez y resistencia ya que pretenden agrupar estructuras de diferentes tamaños y condiciones de diseño dentro de la misma clasificación. Si se conoce las características de los movimientos de suelo esperados, las curvas de capacidad se utilizan junto con unas curvas de daños esperados obtenidas probabilísticamente para estimar el nivel de daños en cada estructura. Las curvas de daños son conocidas como curvas de fragilidad, y han sido obtenidas de antemano. En las siguientes secciones de este artículo se describen las curvas de capacidad de HAZUS y se comparan con las curvas obtenidas para un grupo de edificios analizados usando el programa comercial SAP 2000 nonlinear.

METODOLOGÍA DE HAZUS

El primer paso para mitigar los efectos de un desastre natural es identificar el impacto potencial del evento en la seguridad y la economía de la comunidad. Esta tarea puede ser muy complicada ya que requiere una inversión considerable de tiempo y de dinero y el esfuerzo concertado de muchos consultores en diferentes ramas de la ingeniería. HAZUS se diseñó para facilitar hacer estimados de daños producidos por terremotos a nivel regional. El nombre de HAZUS viene de "Hazards U.S.". Es un programa de computadoras personales basado en una plataforma de sistema de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). Los estimados de HAZUS pueden usarse a nivel local y a nivel nacional. Su desarrollo técnico fue delegado por FEMA a la compañía privada Risk Management Solutions, ubicada en Menlo Park, California. Las partes principales de HAZUS, versión del 99, son: una base de datos abarcadora del inventario, resolución a nivel del censo, sistemas de clasificación para edificios y líneas de servicio, datos sobre la

¹Catedrático, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, P. O. Box 9041, Mayagüez, PR 00681

²Catedrático, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, P. O. Box 9041, Mayagüez, PR 00681

³Estudiante Graduado, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, P. O. Box 9041, Mayagüez, PR 00681

⁴Estudiante Graduado, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, P. O. Box 9041, Mayagüez, PR 00681

geología del lugar incluyendo la localización y magnitud del evento sísmico esperado, la formulación matemática para calcular daños y pérdidas, y datos económicos. El programa puede mostrar el inventario, daños y pérdidas en forma de tabla y en mapas a colores.

Para estudiar los daños en un edificio hay que conocer el tipo de edificio (clasificado según las alternativas del programa), la altura del edificio, y el nivel de diseño sísmico. Las clasificaciones fueron tomadas del documento NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings (FEMA 1992). Estas clasificaciones originales se desglosan en tres rangos de acuerdo al número de pisos: de 1 a 3, de 4 a 8, y mayores de 9 pisos. Primero los edificios se clasifican de acuerdo al material estructural principal. Puede seleccionarse entre edificios de madera, de acero, de hormigón armado, de hormigón pretensado, de bloque reforzado, y de bloque sin reforzar. En segundo lugar se considera el sistema estructural usado para resistir las cargas laterales y verticales. Existen los sistemas de pórtico, de paredes, de pórticos arriostrados, o combinaciones de pórticos y paredes. En Puerto Rico los materiales de construcción más comunes son el hormigón armado y el acero, y la Isla se encuentra en zona sísmica 3 de acuerdo al Uniform Building Code (ICBO 1997). Por lo tanto, sólo se consideraron 8 tipos de edificios en este estudio. A continuación se presentan los tipos de edificios utilizados, seguidos de una breve descripción resumida del manual de HAZUS. Hay 5 tipos de edificios de acero, identificados por una "S" de "steel" seguida de un número que identifica el tipo, y una letra que identifica la altura entre las siguientes: L = baja ("low"), M = Mediana ("Medium"), H = alta ("high").

Pórtico de acero (S1): Tienen pórticos compuestos de vigas y columnas. En algunos casos la conexión entre la viga y la columna tiene poca capacidad a momento, pero en otros casos la conexión tiene capacidad suficiente para desarrollar la capacidad de momento de las vigas o las columnas. Se usan diafragmas de piso para transferir las cargas laterales horizontalmente a los pórticos.

Pórtico arriostrado de acero (S2): Son pórticos similares a los del tipo S1 excepto que los pórticos de acero contienen elementos inclinados que le dan rigidez lateral adicional y los convierten en pórticos arriostrados.

Pórticos de acero liviano (S3): Son edificios prediseñados y prefabricados con pórticos transversales de conexiones rígidas. Las vigas y columnas normalmente son de sección variable hecha de planchas livianas de acero para eficiencia máxima. El pórtico se arma en el campo con conexiones atornilladas. En la dirección longitudinal se usan barras inclinadas en tensión para resistir las cargas laterales.

Pórticos de acero con paredes de hormigón armado (S4): Se usan paredes de hormigón fundidas en sitio para resistir las cargas laterales, y los pórticos de acero para resistir las cargas gravitacionales. También se incluye los sistemas duales.

Pórticos de acero con paredes de bloques sin reforzar (S5): Este es un tipo de edificio antiguo. Los códigos modernos no permiten usar las paredes sin reforzar como elementos estructurales para resistir terremotos.

Hay tres tipos de edificios de hormigón armado. Se identifican con la letra "C", seguida de un número y la letra que indica la altura (L, M, H).

Pórtico de hormigón armado (C1): Pórticos de vigas y columnas de hormigón armado. Incluye los edificios antiguos y modernos.

Paredes de Carga de hormigón (C2): Las cargas se resisten con las paredes. Los edificios más modernos tienen menos paredes y pueden incluir elementos de borde en los extremos de las paredes.

Pórticos de hormigón armado con paredes de bloques sin reforzar (C3): Las paredes de bloques ofrecen rigidez y resistencia iniciales que se pierden al agrietarse las paredes. Son edificios más antiguos que pueden tener problemas de falta de capacidad de deformación lateral.

La curva de capacidad es una gráfica de la resistencia a carga lateral del edificio expresada como una función del desplazamiento lateral característico. Normalmente la curva de capacidad se construye graficando la fuerza cortante en la base del edificio contra el desplazamiento en el techo (Freeman 1988). Para obtener esta curva se realiza un análisis de carga lateral considerando el agrietamiento del hormigón y la cedencia del acero; este análisis se conoce en inglés como "pushover" (Lawson et al 1988). Las cargas laterales se distribuyen en proporción al primer modo de vibración de la estructura, y su magnitud se va aumentando poco a poco. Según aumentan las cargas se detecta la formación de rótulas plásticas en los elementos y la consiguiente pérdida de rigidez, por lo que las curvas de capacidad no son líneas rectas. En el método llamado Espectro de Capacidad (Capacity Spectrum) la curva de capacidad se convierte a un gráfico de aceleración espectral contra desplazamiento espectral. Para hacer la conversión se usan las ecuaciones 1 y 2, las cuales expresan el desplazamiento espectral S_{di} en términos del desplazamiento en el techo Δ_{roof} y la aceleración espectral S_{ai} en términos de la fuerza cortante en la base V_i .

$$S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 \times \phi_{1,roof})} \quad (1)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (2)$$

donde α_1 y PF_1 son respectivamente el coeficiente de masa modal y el factor de participación para el primer modo de la estructura, y $\phi_{1,roof}$ es la amplitud del primer modo en el tope de la estructura.

Las curvas de capacidad definidas por HAZUS están dadas por el punto de cedencia (yield) y el punto de capacidad máxima que se muestran en la Figura 1. El manual de HAZUS sólo da el valor de estos dos puntos, así que se reconstruyeron las curvas usando un polinomio de cuarto grado asegurándose que se cumplan las siguientes condiciones: (1) la curva pasa por el punto de cedencia (D_y, A_y), (2) la curva pasa por el punto de capacidad máxima (D_u, A_u), (3) la curva es lineal desde el origen hasta el punto de cedencia, (4) la curva conserva la pendiente inicial en el punto de cedencia, y (5) la curva es horizontal en el punto de capacidad máxima. La Tabla 1 muestra los puntos que se utilizaron para construir las curvas de capacidad para edificios con nivel de diseño alto.

HAZUS establece unas categorías que dependen del nivel de diseño de la estructura para mejorar su curva de capacidad media para cada clasificación estructural. Los niveles de diseño incluidos son: (1) High Code Seismic Design Level, asociado a zona 4 del UBC, (2) Medium Code Seismic Design Level, asociado a la zona 2B del UBC, (3) Low Code Seismic Design Level, asociado a la zona 1 del UBC, y (4) Pre-Code Seismic Design Level, asociado a la zona 0 del UBC.

Dentro de la misma clasificación estructural y nivel de diseño sísmico se permiten variaciones aceptables con respecto a la curva de capacidad media. La Figura 2 muestra la curva de capacidad junto con las curvas que definen al límite superior ($+1\beta$) y el límite inferior (-1β) del rango de la curva de capacidad.

Para obtener la curva superior se multiplican las ordenadas de la curva media por el factor e^β , donde $\beta = 0.25$. Para obtener la curva inferior se multiplican las ordenadas de la curva media por el factor $e^{-\beta}$. En las Figuras 5 a la 26, donde se presentan los resultados los cuales se explican en una sección subsiguiente, se incluyen las curvas de HAZUS que representan la variabilidad aceptable, y se les llama Media +B y Media -B.

EDIFICIOS ESTUDIADOS

Como la intención del proyecto es comparar la capacidad de edificios existentes en Puerto Rico con la representación de su comportamiento incorporado en HAZUS, la primer tarea del proyecto fue conseguir planos estructurales de representativos de edificios construidos en PR. La mayoría de los ejemplos fueron obtenidos en oficinas privadas de diseño y construcción, ya que el proceso de obtener los planos por medio de oficinas de gobierno resultó, con pocas excepciones, difícil y rebuscado.

Las Tablas 2 y 3 muestran algunos de los datos más relevantes sobre los edificios estudiados. La última columna de la tabla indica el año de diseño aproximado. Puede apreciarse que la mayoría de las estructuras estudiadas son relativamente modernas, siendo la más antigua del año 1978 y la mayoría del 1982 en adelante. El sistema estructural se indica en la penúltima columna de la tabla, la cual se interpreta junto con las Figuras 3 y 4. Estas figuras agrupan todos los sistemas estructurales encontrados.

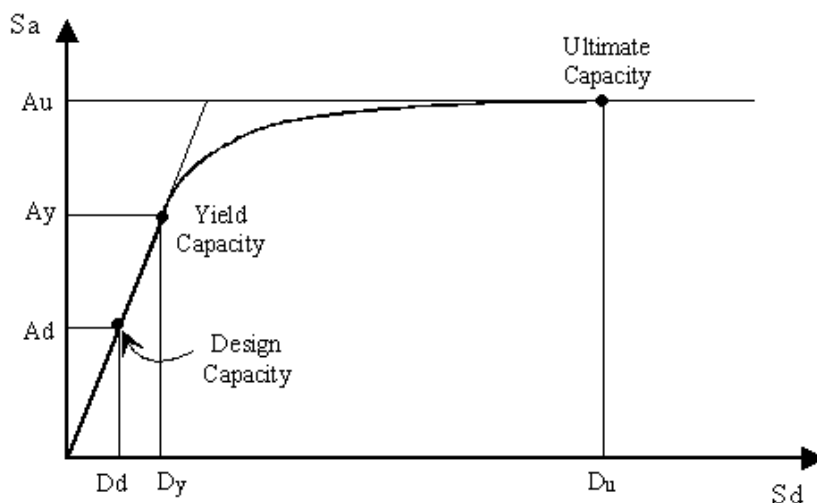


Figura 1: Ejemplo de curva de capacidad de HAZUS (tomada del manual de HAZUS)

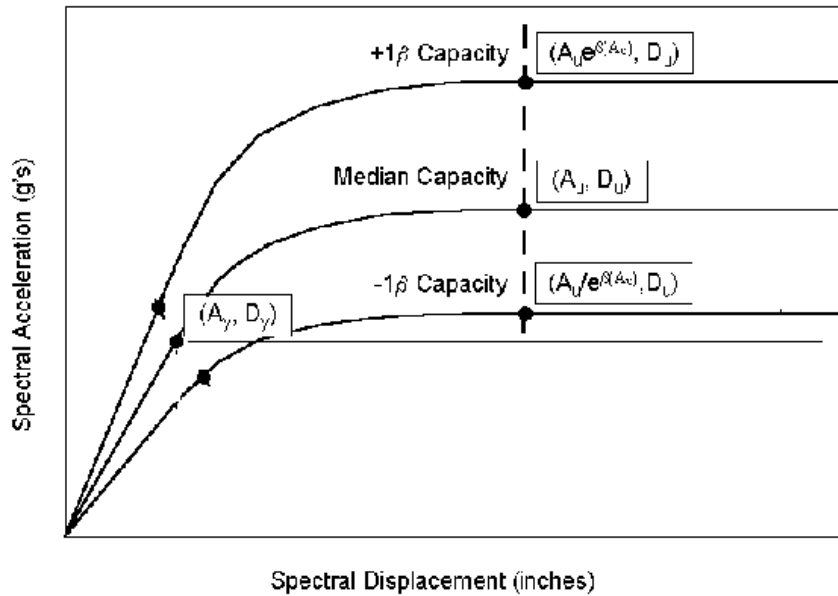
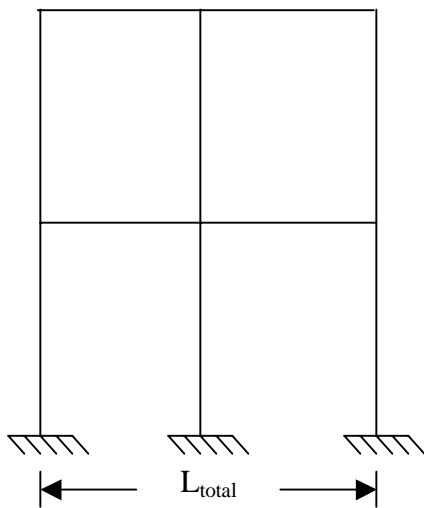


Figura 2: Construcción de las curvas de capacidad percentil-16 y percentil-84 (tomada del manual de HAZUS)

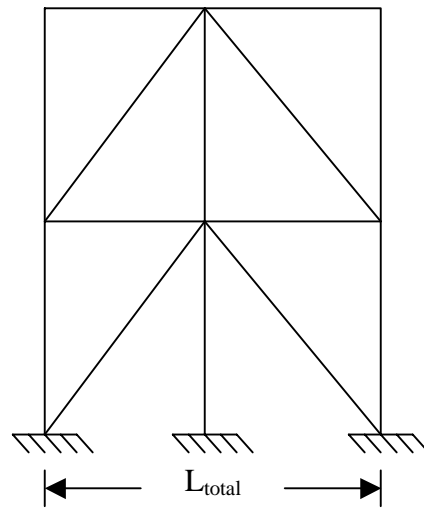
Tabla 1: Puntos para Curvas de Capacidad para Edificios de HAZUS

Tipo de Edificio	Capacidad de Cedencia		Capacidad Máxima	
	D_y (pulg.)	A_y (g)	D_u (pulg.)	A_u (g)
S1L	0.61	0.250	14.67	0.749
S1M	1.78	0.156	28.40	0.468
S1H	4.66	0.098	55.88	0.293
S2L	0.63	0.400	10.02	0.800
S2M	2.43	0.333	25.88	0.667
S2H	7.75	0.254	61.97	0.508
S3	0.63	0.400	10.02	0.800
S4L	0.38	0.320	6.91	0.720
S4M	1.09	0.267	13.10	0.600
S4H	3.49	0.203	31.37	0.457
S5L				

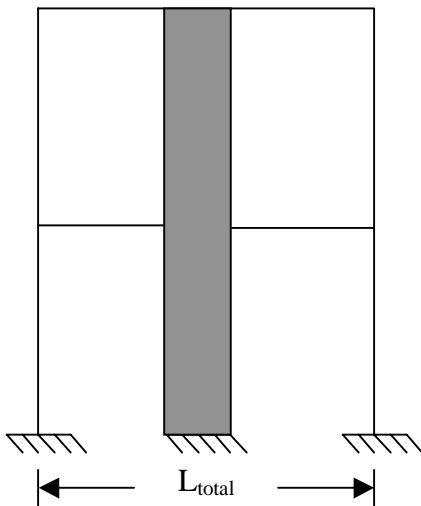
Tipo de Edificio	Capacidad de Cedencia		Capacidad Máxima	
	D_y (pulg.)	A_y (g)	D_u (pulg.)	A_u (g)
S5M				
S5H				
C1L	0.39	0.250	9.39	0.749
C1M	1.15	0.208	18.44	0.624
C1H	2.01	0.098	24.13	0.293
C2L	0.48	0.400	9.59	1.000
C2M	1.04	0.333	13.84	0.833
C2H	2.94	0.254	29.39	0.635
C3L				
C3M				
C3H				



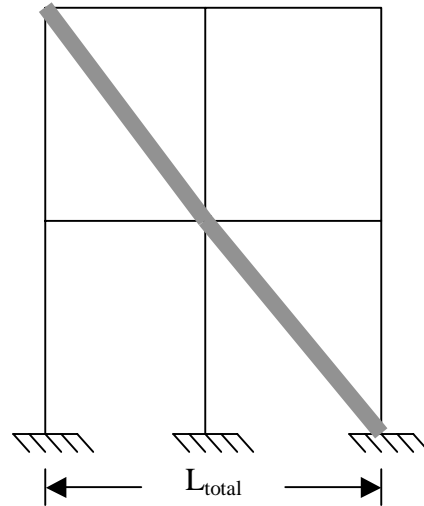
Pórtico de Acero (SF1)



Pórtico de Acero (SF2)



Pórtico de Acero (SF3)



Pórtico de Acero (SF4)

Figura 3: Representación del Sistema Estructural para Edificios de Acero.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los edificios de Puerto Rico fueron modelados usando el programa SAP 2000 nonlinear (Computers and Structures, 1999). Se preparó un modelo en 2 dimensiones de un pórtico representativo de cada edificio. Se le incluyeron las cargas gravitacionales y se le aplicó la carga lateral con distribución similar al primer modo de vibración. Se calculó la curva de fuerza cortante en la base contra desplazamiento en el techo, considerando la formación de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas o las columnas cuando se excede el momento de cedencia en éstos. Esta curva se convirtió a un espectro de capacidad para poder compararla con las curvas de HAZUS.

Las Figuras 5 a la 27 presentan los resultados de comparación para cada clasificación estructural. La Figura 5 corresponde a la clasificación S1L, en la cual se analizaron dos edificios. Puede apreciarse que la resistencia de ambos edificios identificados como Edif1 y Edif2 es mayor que la resistencia de los edificios de acuerdo a la curva de HAZUS, para edificios de nivel de diseño moderado. Debe interpretarse que los valores de aceleración espectral son proporcionales a la fuerza resistida de acuerdo a la ecuación 2. La rigidez inicial calculada también es mayor que la de HAZUS, mientras que el desplazamiento máximo es menor, aunque cercano, al de las curvas de HAZUS. Debe

indicarse que el valor de desplazamiento máximo es muy difícil de calcular con confianza y no debe ser un factor decisivo en la comparación. La Figura 6 muestra los mismos edificios de la Figura 5, pero ahora comparados con las curvas para nivel de diseño High Code Design Level de HAZUS. Se aprecia que la resistencia de los edificios cumple con esta categoría, aunque su deformación máxima es menor que la de las curvas de HAZUS.

A manera de resumir los resultados de las comparaciones se prepararon las Tablas 3 y 4 las cuales muestran, para los edificios de acero y de hormigón, la resistencia, rigidez y ductilidad con relación a las curvas de HAZUS. Puede apreciarse que todos los edificios de acero y todos menos cinco edificios de hormigón tienen capacidad igual o mayor al nivel de diseño moderado. Quince (15) de los veintisiete (27) ejemplos estudiados tienen capacidad mayor que el nivel moderado, y 11 de los 27 tienen capacidad alta, a pesar de que ninguno se diseñó para la zona 4 del UBC.

Tabla 2: Descripción de las Estructuras de Acero Analizadas.

Categoría	Ident.	# Pisos	# Luces	Long.	Altura-(h ₁) ²	Altura-(h _m) ³	Sist. Struc. ⁴	Año
				Total (pies)	(pies)	(pies)		
S1L	Edif1	2	8	160	7.5	8.5	SF1	1998
S1L	Edif2	2	3	76.5	7.5	8.5	SF1	1998
S1M	Edif1	5	3	75	13	13	SF1	1995
S1M	Edif2	5	5	155	13	13	SF1	1995
S2L	Edif1	1	2	60	30.75	30.75	SF2	1982
S2L	Edif2	2	3	80	16	16	SF2	1982
S2L	Edif3	3	4	71	11	11	SF2	1998
S2M	Edif1	5	3	75	13	13	SF2	1998
S2M	Edif2	5	7	155	9-15	10	SF2	1999
S2M	Edif3	6	4	86	11	10	SF2	1998
S4M	Edif1	4	6	108.25	14	14	SF3	1999
S4M	Edif2	4	3	54.5	11	11	SF3	1998
S5M	Edif1	4	3	75	13	13	SF3	1995
S5M	Edif2	5	3	54	11	11	SF3	1998

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todos los edificios de acero y la mayoría de los edificios de hormigón analizados exhibieron resistencia igual o mayor a la resistencia que HAZUS le atribuye a los edificios en nivel de diseño moderado. La mayoría de los edificios de acero tienen resistencia mayor a la requerida para nivel moderado, y la mitad de éstos tienen resistencia propia del nivel de diseño alto (high).

La mayoría de los edificios tienen rigidez igual o mayor que la requerida para el nivel de diseño moderado de HAZUS.

Todos los edificios mostraron capacidad de deformación consistente con el nivel de diseño moderado de HAZUS. Unos pocos tenían deformación máxima cercana a la del nivel de diseño alto.

La forma de la curva de capacidad calculada es parecida a la forma de las curvas de HAZUS.

Los edificios que se utilizaron de ejemplo estaban representados en las clasificaciones estructurales permitidas por HAZUS. Su comportamiento calculado estaba contenido en las curvas de capacidad de HAZUS. Basado en estas

observaciones, concluimos que no hace falta definir nuevas clasificaciones estructurales para analizar los edificios en Puerto Rico usando HAZUS.

A partir de las observaciones se recomienda que si se desea hacer estimados de daños conservadores, a los edificios de Puerto Rico debe asignársele el nivel de diseño moderado al clasificarlos para efectos de HAZUS. Los edificios nuevos, desde el año 2000, deben considerarse como una excepción ya que deben estar diseñados por el Uniform Building Code de 1997 y pueden clasificarse como nivel de diseño alto.

Tabla 3: Descripción de las Estructuras de Concreto Analizadas

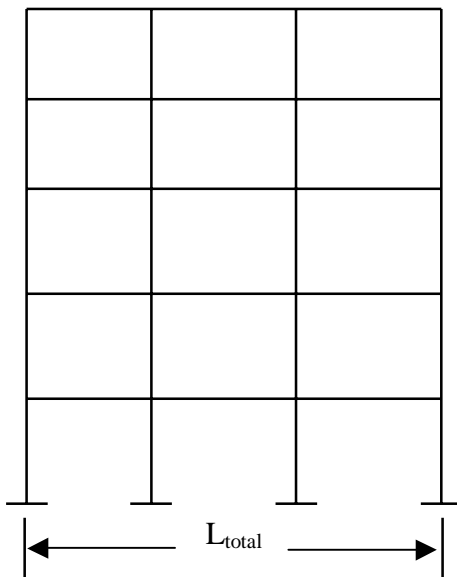
Categoría	Ident. ¹	# Pisos	# Luces	Long.	Altura-(h ₁) ²	Altura-(h _m) ³	Sist. Struc. ⁴	Año
				Total (pies)	(pies)	(pies)		
C1L	Edif1	1	3	90	11	11	CF1	1970
C1L	Edif2	1	1	25	10	10	CF1	1985
C1L	Edif3	1	1	32	11	11	CF1	1978
C1M	Edif1	4	2	51.6	12	12	CF1	1990
C1M	Edif2	4	3	68.4	13	12.5	CF1	1990
C1H	Edif1	9	3	83.5	14	12	CF1	1990
C1H	Edif2	9	2	65	14	12	CF1	1990
C2L	Edif1	3	2	39	10	10	CF2	1985
C2M	Edif1	4	1	20	13.8	13.8	CF2	1999
C2M	Edif2	4	3	90	14.5	14.5	CF2	1999
C2M	Edif3	4	1	37	13.8	13.8	CF2	1999
C2M	Edif4	4	2	57	12.5	12.5	CF3	1990
C2H	Edif1	14	2	115	12	12	CF3	1990
C2H	Edif2	14	3	108	12	12	CF3	1990
C2H	Edif3	20	1	30.5	13.2	9	CF2	1988

1 Identificación de los edificios en las curvas de capacidad.

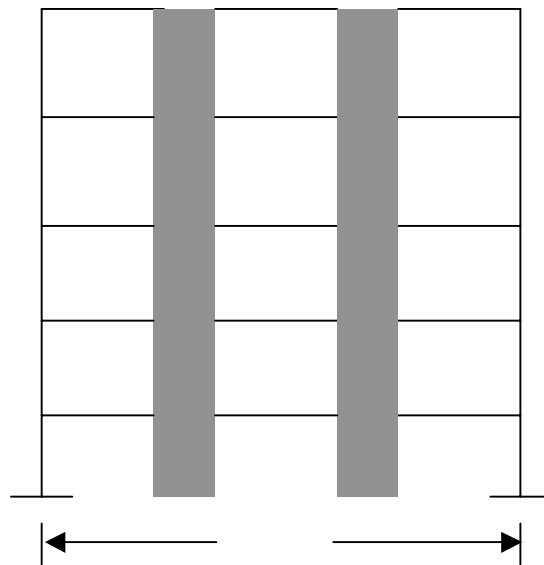
2 Altura del primer piso.

3 Altura promedio de piso.

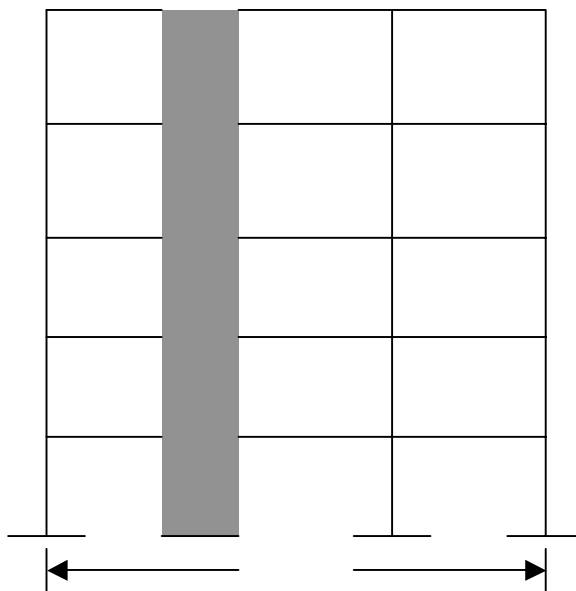
4 Representación del sistema estructural. Ver Figura 3 y Figura 4.



Pórtico de Concreto (CF1)



Pórtico de Concreto (CF2)



Pórtico de Concreto (CF3)

Figura 4: Representación del Sistema Estructural para Edificios de Concreto

Tabla 4: Parámetros de Capacidad y Resistencia de las Estructuras de Acero

Categoría	Ident.	Capacidad Máxima (C_u)				Rigidez	Ductilidad
		$C_u < \text{Mod}$	$C_u = \text{Mod}$	$\text{Mod} < C_u < \text{Alta}$	$C_u = \text{Alta}$	Alta/Mod/Baja	
S1L	Edif1				x	Alta	Mod
S1L	Edif2				x	Alta	Mod
S1M	Edif1		x			Mod	Mod
S1M	Edif2		x			Mod	Mod
S2L	Edif1			x		Mod	Alta
S2L	Edif2				x	Alta	Mod
S2L	Edif3				x	Alta	Mod
S2M	Edif1				x	Alta	Mod
S2M	Edif2			x		Alta	Mod
S2M	Edif3				x	Alta	Mod
S4M	Edif1			x		Alta	Mod
S4M	Edif2		x			Baja	Mod

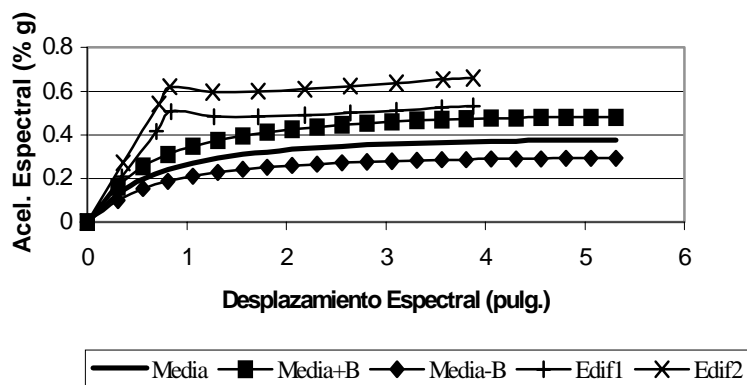


Figura 5: Curvas de capacidad - (S1L) - Nivel de diseño moderado

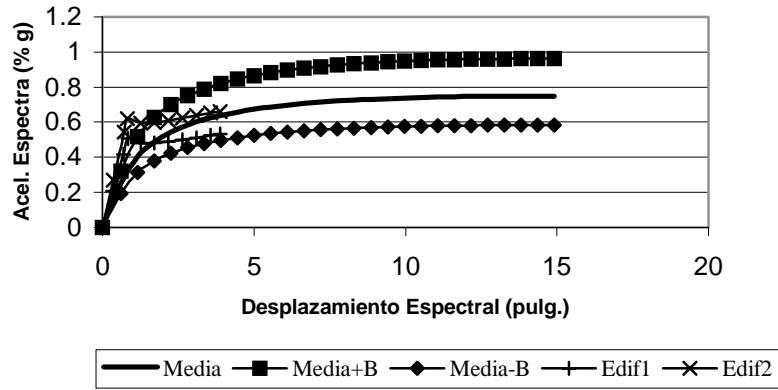


Figura 6: Curvas de capacidad - (SIL) - Nivel de diseño alto

Tabla 5: Parámetros de Capacidad y Resistencia de las Estructuras de Concreto

Categoría	Ident.	Capacidad Máxima (C_u)				Rigidez	Ductilidad
		$C_u < \text{Mod}$	$C_u = \text{Mod}$	$\text{Mod} < C_u < \text{Alta}$	$C_u = \text{Alta}$	Alta/Mod/Baja	
C1L	Edif1	x				Baja	Mod
C1L	Edif2				x	Alta	Mod
C1L	Edif3				x	Alta	Mod
C1M	Edif1				x	Alta	Mod
C1M	Edif2		x			Mod	Mod
C1H	Edif1	x				Baja	Mod
C1H	Edif2		x			Baja	Alta
C2L	Edif1				x	Alta	Mod
C2M	Edif1	x				Alta	Mod
C2M	Edif2		x			Alta	Mod
C2M	Edif3		x			Alta	Alta
C2M	Edif4	x				Alta	Mod
C2H	Edif1	x				Mod	Mod
C2H	Edif2			x		Baja	Alta
C2H	Edif3				x	Alta	Alta

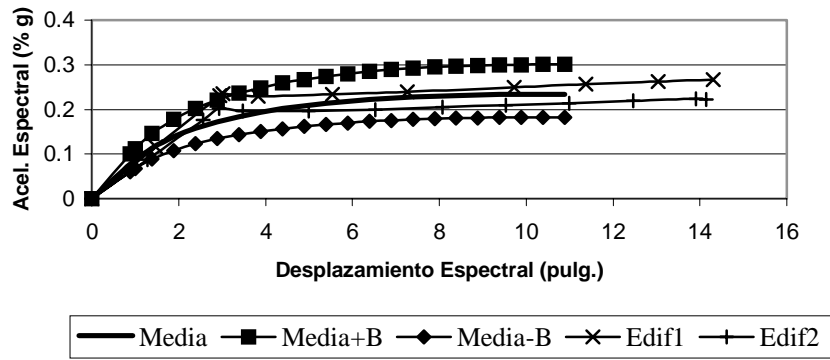


Figura 7: Curvas de capacidad - (S1M) - Nivel de diseño moderado

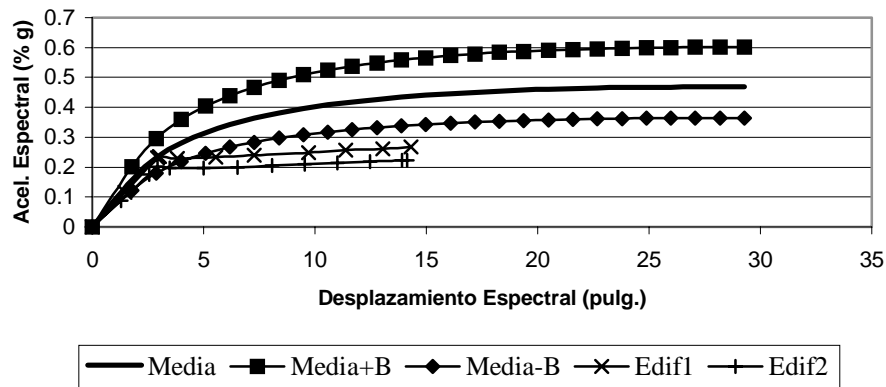


Figura 8: Curvas de capacidad - (S1M) - Nivel de diseño alto

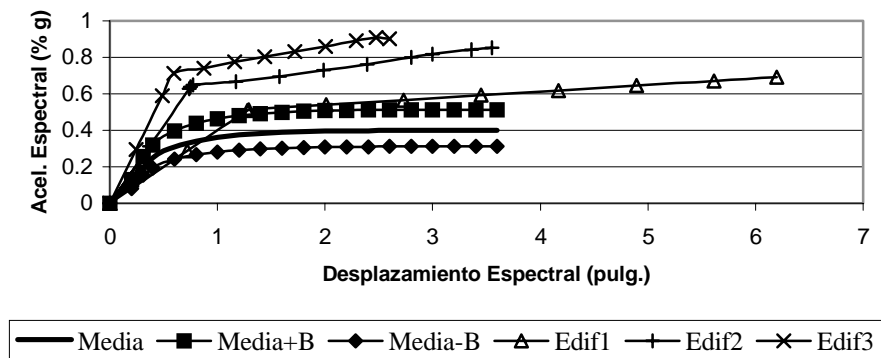


Figura 9: Curvas de capacidad - (S2L) - Nivel de diseño moderado

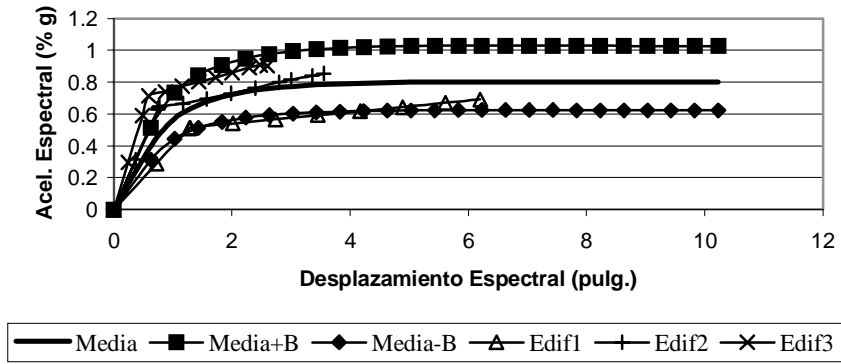


Figura 10: Curvas de capacidad - (S2L) - Nivel de diseño alto

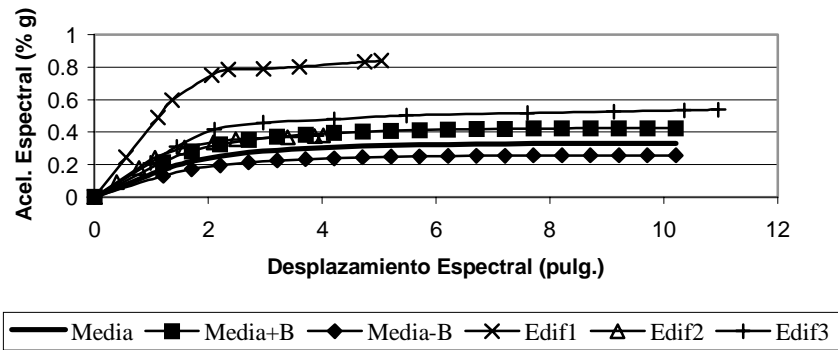


Figura 11: Curvas de capacidad - (S2M) - Nivel de diseño moderado

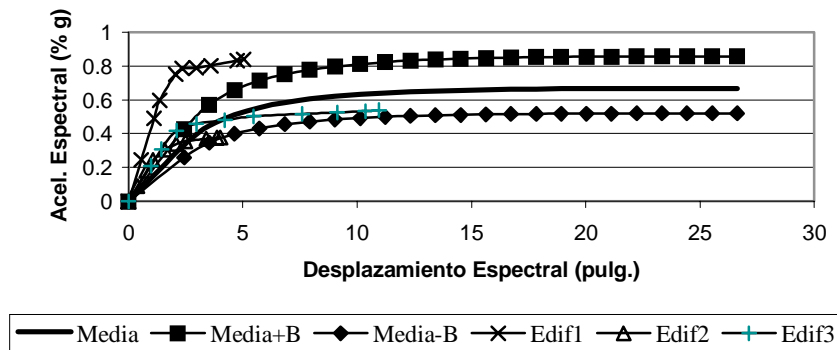


Figura 12: Curvas de capacidad - (S2M) - Nivel de diseño alto

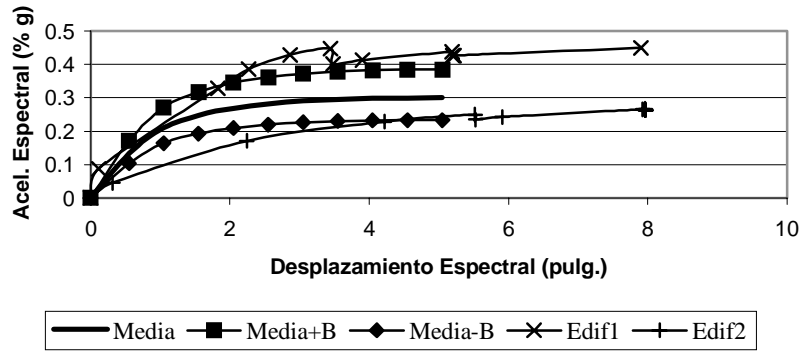


Figura 13: Curvas de capacidad - (S4M) - Nivel de diseño moderado

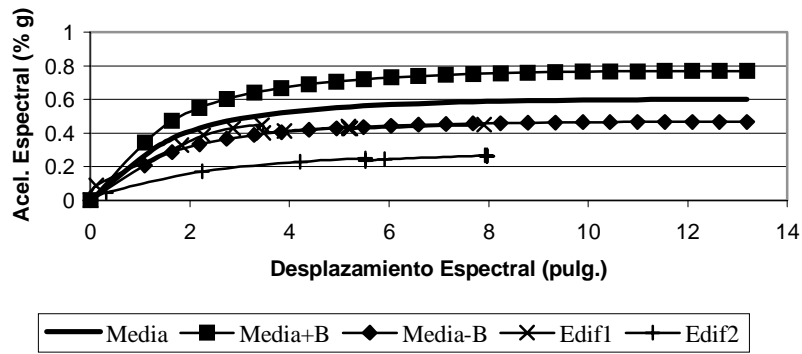


Figura 14: Curvas de capacidad - (S4M) - Nivel de diseño alto

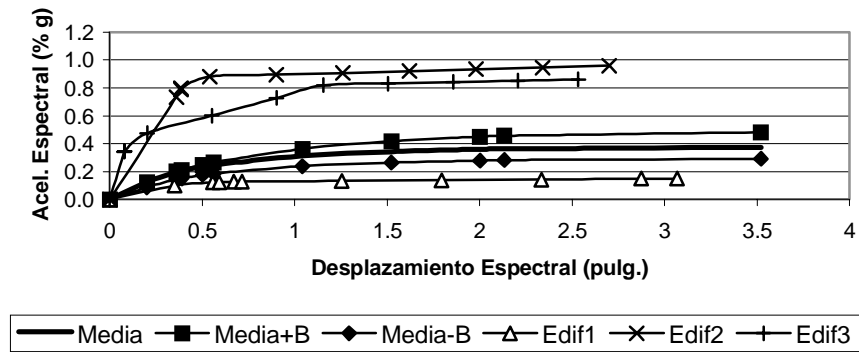


Figura 15: Curvas de capacidad - (C1L) - Nivel de diseño moderado

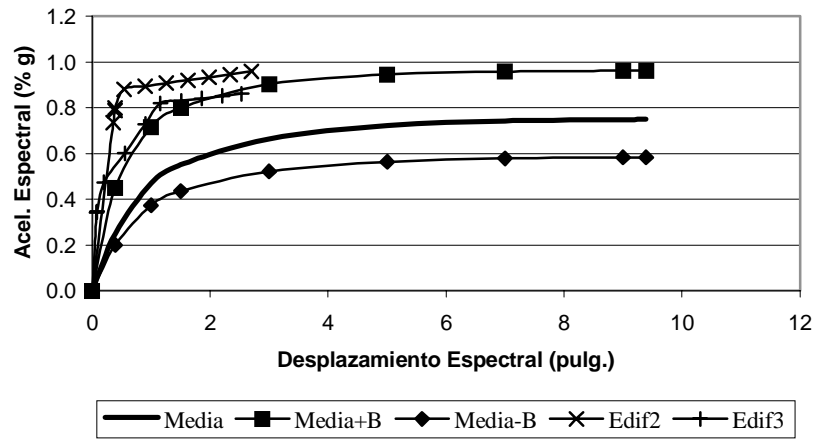


Figura 16: Curvas de capacidad - (C1L) - Nivel de diseño alto

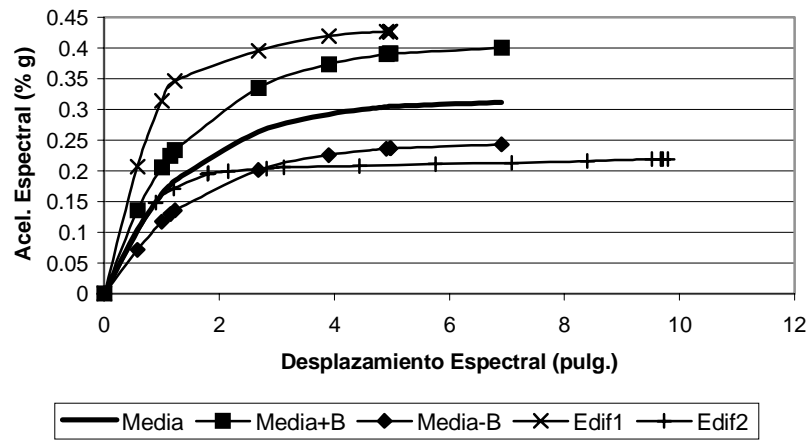


Figura 17: Curvas de capacidad - (C1M) - Nivel de diseño moderado

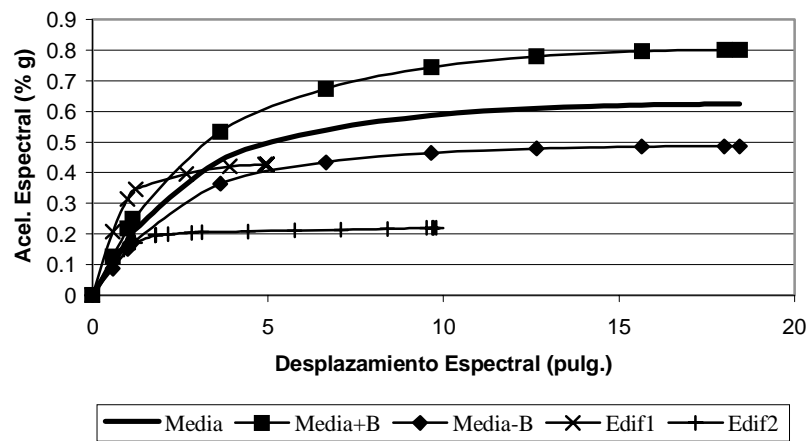


Figura 18: Curvas de capacidad - (C1M) - Nivel de diseño alto

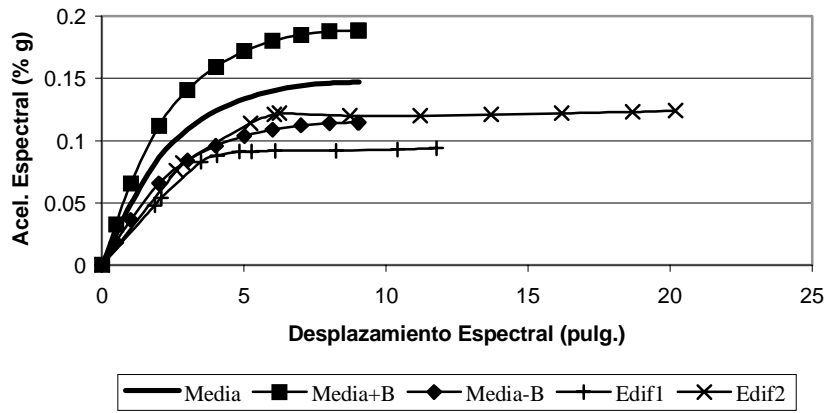


Figura 19: Curvas de capacidad - (C1H) - Nivel de diseño moderado

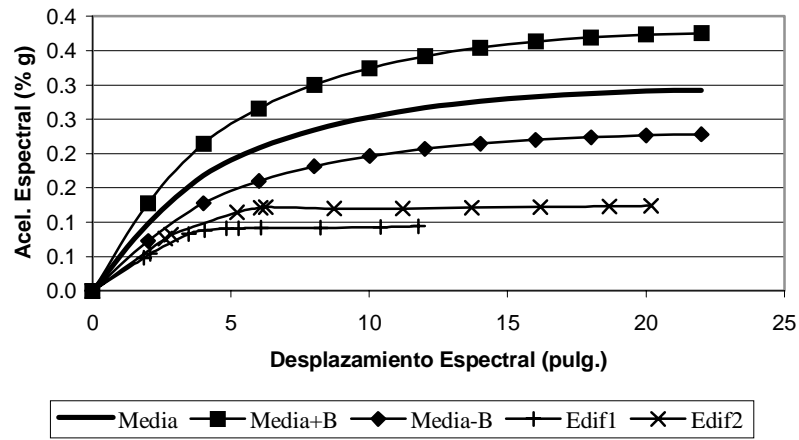


Figura 20: Curvas de capacidad - (C1H) - Nivel de diseño alto

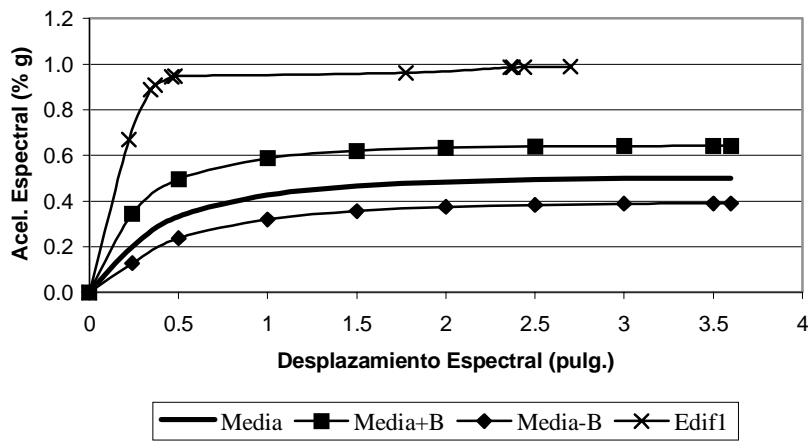


Figura 21: Curvas de capacidad - (C2L) - Nivel de diseño moderado

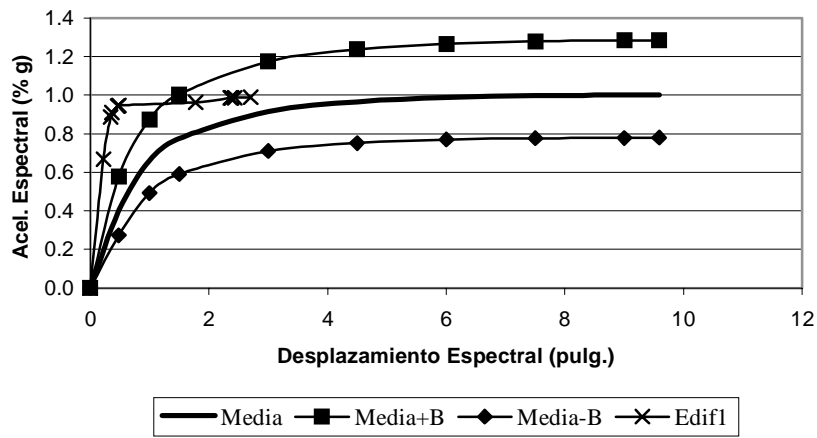


Figura 22: Curvas de capacidad - (C2L) - Nivel de diseño alto

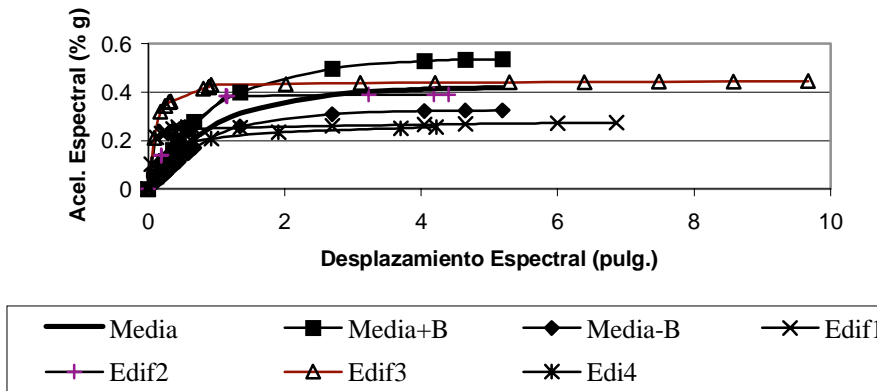


Figura 23: Curvas de capacidad - (C2M) - Nivel de diseño moderado

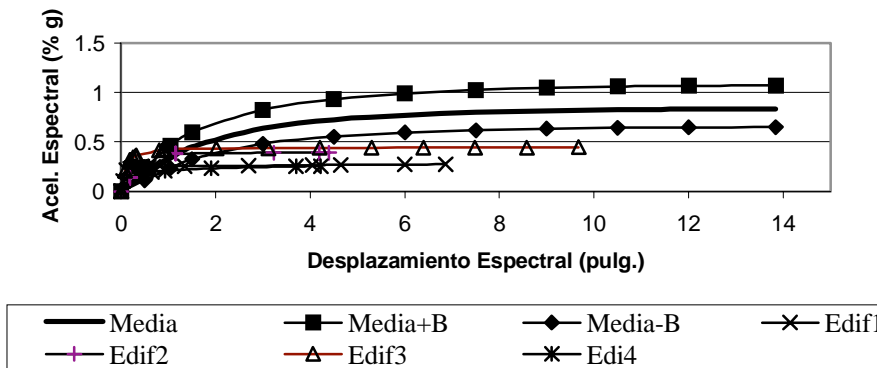


Figura 24: Curvas de capacidad - (C2M) - Nivel de diseño alto

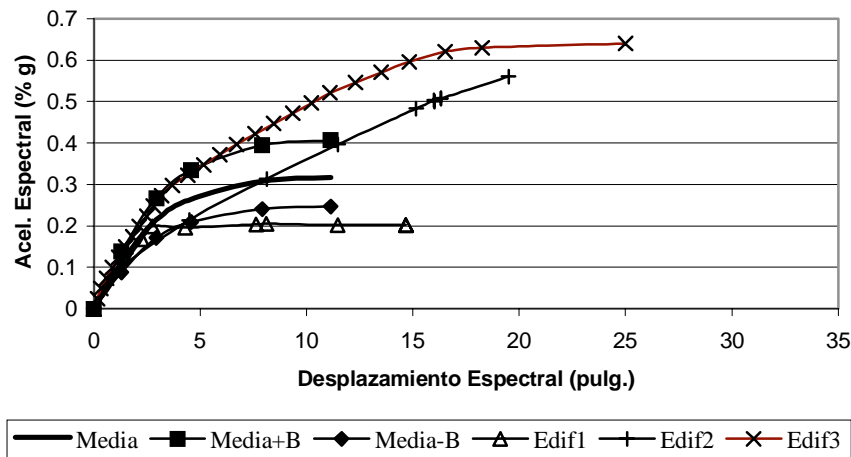


Figura 25: Curvas de capacidad - (C2H) - Nivel de diseño moderado

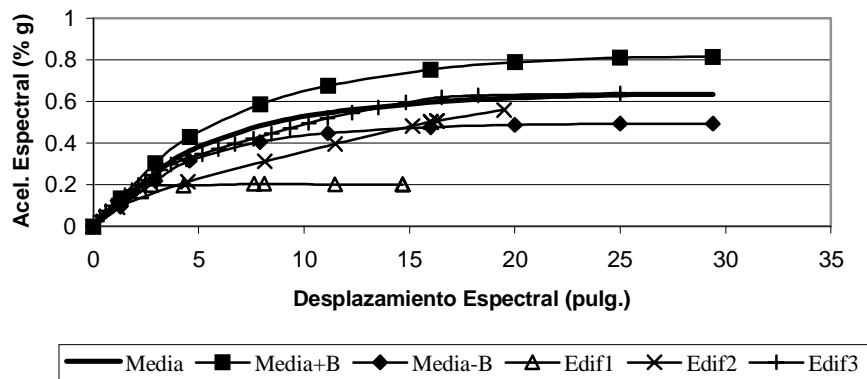


Figura 26: Curvas de capacidad - (C2H) - Nivel de diseño alto

REFERENCIAS

- American Society of Civil Engineers (1996). *ASCE 7-95 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Reston, Virginia.
- Applied Technology Council (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California.
- Computers and Structures, Inc. (CSI), *SAP 2000 User Manual*, Berkeley, California.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). *HAZUS Technical Manual*. Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). *NEHPR Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*: FEMA 273, Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1992). *NEHPR Handbook of the Seismic Evaluation of Existing Building*: FEMA 178, Washington DC.
- International Conference of Building Officials (ICBO) (1997). *Uniform Building Code*, Whittier, California.
- Lawson, R. S., Vance, V. y Krawinkler, H. *Nonlinear Static Push-Over Analysis - Why, When, and How?* (1988) John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, California.
- Freeman, S. A. (1998). "Development and Use of Capacity Spectrum Method", *Proceedings of the 6th US National Conference of Earthquake Engineering*, EERI, Oakland, California.

