

Un Estudio Comparativo del Análisis Sísmico de los Códigos ASCE7-05, ASCE7-10 y ASCE7-16

Pedro A. Soto Pesante

Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Supervisor: Alberto Guzmán De La Cruz, PhD.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — Estudio comparativo de la determinación de las cargas de diseño sísmico entre los códigos normativos de la “American Society of Civil Engineers” (ASCE) 2005, 2010 y 2016. Se realizaron análisis y diseño de un edificio comercial de veinte (20), treinta (30) y sesenta (60) pisos de altura para la región de Cabo Rojo, PR. El estudio se centra en los efectos estructurales y comportamiento de los edificios debido al cambio en los parámetros de análisis sísmico, los coeficientes y las cargas de diseño sísmico de los códigos. Se prestó especial atención a los desplazamientos permitidos de los edificios, los cortantes de la base, a los cambios estructurales el momento de inercia, las paredes de cortante y otros elementos delimitadores fueron evaluados con el fin de obtener una mejor condición de rigidez en las estructuras.

Términos claves — Códigos ASCE, Diseños Sísmicos, Parámetros de Aceleración y de Sitio.

INTRODUCCIÓN

Puerto Rico está ubicado en un área sísmica muy activa. La estructura del presente estudio está localizada en el suroeste de Puerto Rico, en una estratificación de suelo clasificada como tipo D Según ilustrado en la figura 1, el desarrollo se realizará en un área propensa a velocidades y aceleraciones sísmicas más altas. El propósito de este estudio es determinar las diferencias en la parte sísmica de los últimos tres códigos sísmicos de la Sociedad American de Ingenieros Civiles (ASCE), es decir, ASCE 7-2005, ASCE 7-2010 y ASCE 7-2016. Los códigos del IBC, el ASCE-7 y el Código de Edificación de Puerto Rico (PR Building Code) son las normativas sísmicas que rige el diseño de estructuras en Puerto Rico.

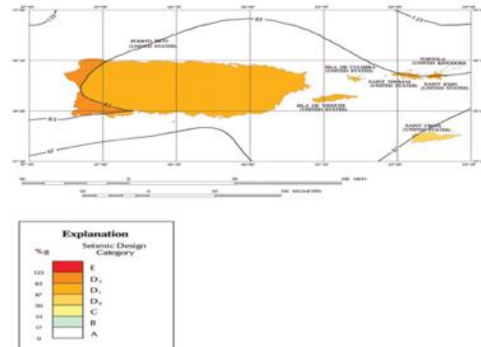


Figura 1
Categoría Sísmica de Diseño [1]

METODOLOGÍA

Se realizaron análisis en tres dimensiones (3-D) de edificios de veinte, treinta y sesenta pisos respectivamente, para los tres códigos sísmicos mencionados anteriormente. Los edificios son de concreto reforzado con pórticos resistente a momentos para resistir la carga lateral sísmica. El análisis y diseño de las estructuras se elaboró mediante la asistencia del programa ETABS V16. Las cargas consideradas para el estudio fueron: Cargas Vivas, Cargas Muertas, Cargas Sísmicas Estáticas y Cargas Sísmicas Dinámicas mediante espectros de Respuestas.

La figura 2 ilustra una vista en planta, típica para los pisos de las estructuras. Dicha planta tiene un área rectangular de 60' por 80' y muestra el sistema resistente a carga lateral, es decir, pórticos de vigas y columnas, con un núcleo central de paredes de corte usado por el elevador de la estructura. Se consideró 12'-0" como altura de entre piso.

Los elementos estructurales se diseñaron para soportar las cargas gravitatorias en combinación con una carga lateral espectral de 85% del cortante basal estático, sin exceder los desplazamientos permitidos por los códigos.

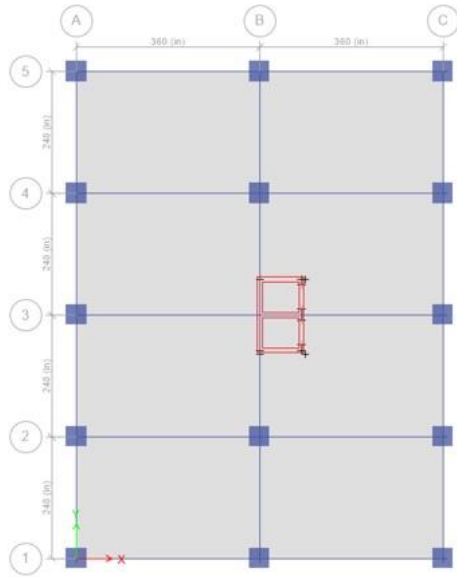


Figura 2
Vista de Planta Típica del Edificio

El proceso de modelaje se comenzó utilizando columnas de 2'x2' para el edificio de 20 pisos, una pared de 12" y las vigas de 2'x2'. Se definieron y determinaron los parámetros correspondientes requeridos por los códigos los cuales están ilustrados en las tablas 1, 2 y 3. Entre estos parámetros podemos mencionar el periodo de transición largo (TL) que para Puerto Rico igual a 12 segundos y los parámetros de aceleración espectral (S_{DS} , S_{D1}). Toda vez que los elementos y parámetros de análisis se definieron, incluyendo las combinaciones de cargas a considerar, se verifica para que la estructura no exceda los desplazamientos máximos permitidos, ni las directrices de diseño del código.

A continuación, se exponen los conceptos que se utilizaron para modelar, analizar y diseñar los edificios de veinte (20), treinta (30) y sesenta (60) niveles. Las ecuaciones principales para obtener los parámetros de los códigos son presentadas. Referirse a tabla 1 y tabla 2.

- S_1 = parámetro de aceleración de respuesta espectral de 1.0 segundo (periodo largo).
- S_s : parámetro de aceleración de respuesta espectral de 0.2 segundo (periodo corto).
- F_a y F_v : coeficiente de sitio basado en aceleración a un periodo de 0.2 y 1.0 segundos respectivamente. (ver figuras 4 y 5)

- I_p : factor de importancia de componente que varía de 1 a 1.5. El riesgo de categoría para los edificios del estudio es I por representar un bajo riesgo de pérdidas humanas en eventos de falla (referirse a la figura 6 y 7).
- Esfuerzo cortante en la base: la fuerza o esfuerzo cortante lateral total de diseño en la base.
- Efecto P Delta: el efecto de segundo orden sobre las fuerzas internas cortantes y momentos en los elementos de la estructura, debido a la acción de cargas aplicadas al sistema. El efecto es inducido por el desplazamiento lateral de la estructura.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (1)$$

- S_{MS} es la respuesta espectral para periodos cortos.

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2)$$

- S_{M1} un Segundo ajustado al efecto del tipo de suelo.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3)$$

- S_{DS} es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de terremoto a corto plazo.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (4)$$

- S_{D1} es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de terremoto a corto plazo para periodo de 1 segundo.
- C_d = El factor de amplificación de deflexión
- g = la aceleración de la gravedad, igual a 32.16 ft/s² o 386.22 in/s²
- Δ_a = desplazamiento de piso admisible de la tabla 12.12-1 ASCE 2010
- δ_{xe} = el desplazamiento del nivel x en el centro de masa en el nivel "x" y por encima del mismo, determinado por un análisis elástico.
- Diafragma: porción horizontal, o casi horizontal del sistema resistente, a sismos diseñado para transmitir fuerzas sísmicas a los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas sísmicas.

- Desplazamiento de diseño: el desplazamiento lateral sísmico excluyendo el desplazamiento sísmico adicional debido a torsión actual o accidental, requerido para diseñar el sistema de aislamiento.
- Para este estudio se consideró una carga viva de cincuenta libras por pies cuadrados (50 psf). Como carga muerta sobreimpuesta se consideró treinta y cinco libras por pies cuadrados (35 psf).
- El factor de modificación de respuesta, R, se consideró igual a 8 y el factor de amplificación de respuesta espectral se determinó usando la expresión $= I \cdot g / R$.
- En adición se utilizó la fórmula de $.020h_{sx}$ de la tabla 12.12-1 ASCE 2010 para el desplazamiento permisible. La fórmula de diseño según los radios de desplazamientos obtenidos del programador para el diseño del edificio.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (5)$$

Donde:

- I_e = Factor de Importancia (1) sección 11.5.1
- δ_x = desplazamiento bajo cargas sísmicas por nivel x.
- I = Factor de importancia
- h_i = story height
- Combinaciones de carga:

$$1.4D \quad (6)$$

$$1.6L+1.2D \quad (7)$$

$$1L+1.3D+S_x \quad (8)$$

$$1L+1.3D-S_x \quad (9)$$

$$1L+1.3D+S_y \quad (10)$$

$$1L+1.3D-S_y \quad (11)$$

$$8D+S_x \quad (12)$$

$$0.8D-S_x \quad (13)$$

$$0.8D+S_y \quad (14)$$

$$0.8D-S_y \quad (15)$$

$$1L + 1.3D + (1RSX+30\%Y) \quad (16)$$

$$1L + 1.3D + (1RSY+30\%X) \quad (17)$$

$$0.8D + (1RSX+30\%Y) \quad (18)$$

$$0.8D + (1RSY+30\%X) \quad (19)$$

ANÁLISIS

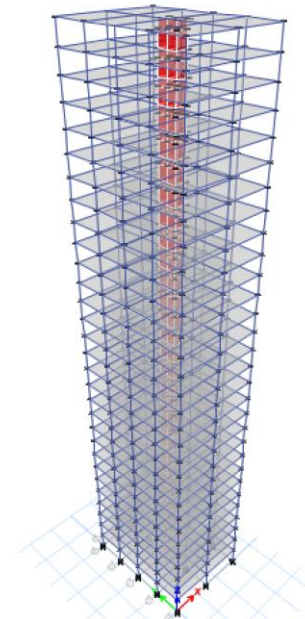


Figura 3
Edificio Diseñado de 30 Niveles

El cambio del parámetro de respuesta espectral (S_1 y S_s) entre ASCE 7-05 y ASCE 7-10 podemos observar que el diseño cambio un poco debido a que dichos parámetros afectan el cálculo de cortantes y momentos al calcular los elementos estructurales.

En los códigos de los años 2005 y 2010 hubo cambios en los periodos asignados a la región de Cabo Rojo. El análisis y discusión de los edificios construidos en el 2010 o después, tienen una importancia en el código del 2016 ya que cambió la gráfica de periodos (figura S_s-S_1). En adición, para este código, hubo cambios en dichos parámetros que afectan el diseño, no de una forma drástica, pero se reconocen cuáles han sido las diferencias entre los códigos y en cuales puntos.

Los valores de los coeficientes del sitio incluidos en ASCE 7-10 y anteriores han estado en vigencia en varios documentos desde principios de los años noventa. Sin embargo, “fue señalado por

Stewart y Seyhan (2012, 2013) que hubo una desconexión entre los coeficientes del sitio ASCE 7-10 y a partir de la predicción de movimiento de tierra de la próxima generación de atenuación (NGA) ecuaciones (GMPE) introducidas en 2008. Para abordar esta desconexión, un grupo de trabajo ensamblado por el Centro de Investigación de Ingeniería de Terremotos del Pacífico (Centro PEER) examinó el sitio efectos del conjunto de datos NGA-West 2, que es el conjunto de datos de movimiento terrestre más grande ensamblado en todo el mundo, que consta de más de 19,000 grabaciones de más de 500 eventos de terremotos. El revisado los coeficientes del sitio se basan en las recomendaciones de este estudio.

Se encontró que, para niveles de temblor relativamente débiles, los nuevos coeficientes del sitio son generalmente menor que los valores en ediciones anteriores de ASCE 7-16. Para niveles de agitación más fuertes en la Clase de Sitio C y D, los nuevos coeficientes del sitio se acercan o son ligeramente mayores que los utilizados en ediciones anteriores de ASCE 7-16, especialmente en períodos largos (es decir, para Fv).

Los valores Fa y Fv para la clase de sitio D en ASCE 7-10 siempre fueron iguales o mayores que

los valores Fa y Fv correspondientes para la clase de sitio C. Por lo tanto, especificando la clase de sitio D como la predeterminada la clase del sitio era conservadora. Sin embargo, los valores de Fa revisados para la Clase de Sitio C son mayores que los valores correspondientes para la clase de sitio D para $S_S \geq 1.0$. Por lo tanto, ahora la clase de sitio D predeterminada viene con una estipulación que Fa debe ser mayor o igual a 1.2.” [2] Ver figura 4.

Los códigos tuvieron cambios en diferentes áreas de diseño como en los “boundary elements”, métodos de anclaje entre otros. Este análisis del proyecto es enfocado en el resultado de los desplazamientos y fuerza de cortante en la base.

Este análisis indica que, a mayor razón espectral, el desplazamiento aumenta y por ende se requiere más rigidez en la estructura.

El factor de sitio basado en aceleración a un periodo de un (1) segundo y velocidad para largo y cortos plazos, Fa y Fv cambio entre el código ASCE 7-10 y 7-16; afectó la rigidez y cortante en base. El diseño es enfocado en una estructura con una pared (“core”), columnas, vigas y diafragma. Es decir, tuvo que aumentarse el acero y miembros de refuerzo.

Table 11.4-1 Short-Period Site Coefficient, F_s , Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period

Site Class	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0 0.9	1.0 0.9	1.0 0.9	1.0 0.9	1.0 0.9	1.0 0.9
C	1.2 1.3	1.2 1.3	1.1 1.2	1.0 1.2	1.0 1.2	1.0 1.2
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	2.5 2.4	1.7	1.2 1.3	0.9 See Section 11.4.7-11.4.8		
F	See Section 11.4.7-11.4.8					

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S .

Table 11.4-2 Long-Period Site Coefficient, F_v , Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period

Site Class	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0 0.8	1.0 0.8	1.0 0.8	1.0 0.8	1.0 0.8	1.0 0.8
C	1.7 1.5	1.6 1.5	1.5	1.4 1.5	1.3 1.5	1.3 1.4
D	2.4	2.0 2.2 ^a	1.8 2.0 ^a	1.6 1.9 ^a	1.5 1.8 ^a	1.5 1.7 ^a
E	3.5 4.2	See Section 11.4.8				
F	See Section 11.4.7-11.4.8					

Figura 4

Cambios en Coeficientes de Sitio Fv y Fa entre los Códigos ASCE7-10 y ASCE 7-16 [2]

Tabla 1
Comparación de Parámetros Sísmicos ASCE 7-05Vs ASCE 7-10 and ASCE 7-16 para un Edificio de 30 Niveles

Descripción		ASCE 7-05	ASCE 7-10	ASCE 7-16
Mapped Acel. Parameter – Short Period	Ss	1.35	1.37	1.37
Mapped Acel. Parameter – 1 Second	S1	.44	.53	.53
Adjustment Site Coefc. – Short Period	Fa	1	1	1
Adjustment Site Coefc. – Long Period	Fv	1.56	1.56	1.78
Spectral Resp. Acel. – Short Period	SMS	1.35	1.37	1.37
Spectral Resp. Acel. – Long Peirod	SM1	.66	.827	.9434
Design Spectral Acel. – Short P	SDS	.9	.9	.9133
Design Spectral Acel. – Long. P	SD1	.4576	.53	.9133
Seismic Category Design	Site Class	D	D	D
Total Building Heightm(in)	H	2880	4,320	8,640
Building Period Coefficient	Ct	.016	.016	.016
Importance Factor	Ie	1	1	1
Response Modification Coefficient	R	8	8	8
Over Strength Factor	Ω	3	3	3
Deflection Amplification Factor	Cd	5.5	5.5	5.5

Tabla 2
Comparación de Parámetros Sísmicos ASCE 7-05Vs ASCE 7-10 and ASCE 7-16 para un Edificio de 60 Niveles

Descripción		ASCE 7-05	ASCE 7-10	ASCE 7-16
Mapped Acel. Parameter – Short Period	Ss	1.35	1.37	1.37
Mapped Acel. Parameter – 1 Second	S1	.44	.53	.53
Adjustment Site Coefc. – Short Period	Fa	1	1	1
Adjustment Site Coefc. – Long Period	Fv	1.56	1.56	1.78
Spectral Resp. Acel. – Short Period	SMS	1.35	1.37	1.37
Spectral Resp. Acel. – Long Peirod	SM1	.66	.827	.9434
Design Spectral Acel. – Short P	SDS	.9	.9	.9133
Design Spectral Acel. – Long. P	SD1	.4576	.53	.9133
Seismic Category Design	Site Class	D	D	D
Total Building Height (in)	H	2880	4,320	8.640
Building Period Coefficient	Ct	.016	.016	.016
Importance Factor	Ie	1	1	1
Response Modification Coefficient	R	8	8	8
Over Strength Factor	Ω	3	3	3
Deflection Amplification Factor	Cd	5.5	5.5	5.5

Cuando nos enfocamos en los cambios espectrales y los coeficientes de periodo, no muestra una diferencia considerable en los costos y diseño, por tal razón si el cliente requiere más rigidez y seguridad, puede utilizar el código ASCE 7-16. Ver figuras 6, 7 y 8.

En el análisis se tuvo que aumentar las dimensiones cuando no cumple con el desplazamiento permisible ni el 85% del cortante basal, tablas 3, 4 y 5, 9, 10 y 11.

Las Tablas 12 al 14 son los resultados del desplazamiento diseñado y el permitido, el primero

debe ser menor o igual que el segundo respectivamente.

Las figuras 5 al 7 son las gráficas del “drift” del edificio de treinta (30) niveles.

Las figuras del 8 al 11 indican el acero para el elemento y detalles típicos para cargas sísmicas.

Tabla 3
Cortante Basal para el Edificio de 20 Niveles

	ASCE 7-2005	ASCE 7-2010	ASCE 7-2016
V (kip)	985.28	1,207.93	1,207.93

Tabla 4
Cortante Basal para el Edificio de 30 Niveles

	ASCE 7-2005	ASCE 7-2010	ASCE 7-2016
V (kip)	1,462.43	1,901.81	1,901.81

Tabla 5
Cortante Basal para el Edificio de 60 Niveles

	ASCE 7-2005	ASCE 7-2010	ASCE 7-2016
V (kip)	8,146.00	17,788.00	17,788.00

Tabla 6
Miembros Estructurales de Diseño para Edificio de 20 Niveles

	Beam	Columns	Slab	Shear Wall (core)	Structural Cost
ASCE7-2005	40"x40"	42"x42"	8"	12"	
ASCE7-2010	42"x42"	42"x42"	8"	12"	
ASCE7-2016	42"x42"	42"x42"	8"	12"	

Tabla 7
Miembros Estructurales de Diseño para Edificio de 30 Niveles

	Beam	Columns	Slab	Shear Wall	Structural Cost
ASCE7-2005	36"x36"	40"x40"	8"	12"	
ASCE7-2010	44"x44"	48"x48"	8"	12"	
ASCE7-2016	44"x44"	48"x48"	8"	12"	

Tabla 8
Miembros Estructurales de Diseño para Edificio de 60 Niveles

	Beam	Columns	Slab	Shear Wall	Structural Cost
ASCE7-2005	84"x84"	144"x144"	8"	12"	
ASCE7-2010	84"x84"	144"x144"	8"	12"	
ASCE7-2016	84"x84"	144"x144"	8"	12"	

Tabla 9
Resultado de Respuesta Espectral

30 - ASCE 7-05		
Load Case/Combo	FX	FY
	kip	kip
Response Spectrum X + 30% Y Max (Vx)	1462.435	1816.181
Response Spectrum Y + 30% X Max (Vy)	1075.529	1335.687
SX	-1720.642	0
SY	0	-1720.642
	-84.99%	-77.63%

Tabla 10
Resultado de Respuesta Espectral

30 - ASCE 7-10		
Load Case/Combo	FX	FY
	kip	kip
Response Spectrum X + 30% Y Max (Vx)	1901.815	2347.694
Response Spectrum Y + 30% X Max (Vy)	1539.577	1900.529
SX	-2236.938	0
SY	0	-2236.938
	-85.02%	-84.96%

Tabla 11
Resultado de Respuesta Espectral

30 - ASCE 7-16		
Load Case/Combo	FX	FY
	kip	kip
Response Spectrum X + 30% Y Max (Vx)	1901.815	2347.694
Response Spectrum Y + 30% X Max (Vy)	1539.577	1900.529
SX	-2236.938	0
SY	0	-2236.938
	-85.02%	-84.96%

Tabla 12
Desplazamiento Permissible ASCE 7-05

Seismic level "C"	A at level "C"	A _{CQ-Ax-11} - Ax	$\frac{C_u \delta_{CQ}}{L}$ Design Story Drift	ASCE CODE Annex A - δ_{max}
60	14.303555	0.322299	1.7779245	2.88
59	13.980296	0.325868	1.787874	2.88
58	13.655228	0.328822	1.797521	2.88
57	13.328406	0.332866	1.805573	2.88
56	13.00012	0.329395	1.8110725	2.88
55	12.670725	0.330128	1.815704	2.88
54	12.340597	0.330477	1.8176235	2.88
53	12.01012	0.330442	1.817431	2.88
52	11.679678	0.330032	1.815176	2.88
51	11.349646	0.329261	1.8109355	2.88
50	11.020385	0.328138	1.804759	2.88
49	10.692247	0.326862	1.796757	2.88
48	10.365565	0.324908	1.786994	2.88
47	10.040657	0.323227	1.775485	2.88
46	9.717783	0.320858	1.762519	2.88
45	9.397372	0.317899	1.7479495	2.88
44	9.079565	0.314894	1.731917	2.88
43	8.764669	0.311722	1.714471	2.88
42	8.452947	0.308301	1.695555	2.88
41	8.144646	0.304639	1.675145	2.88
40	7.840007	0.300741	1.6540755	2.88
39	7.539266	0.296615	1.6313825	2.88
38	7.242651	0.292263	1.6074465	2.88
37	6.950388	0.287692	1.582306	2.88
36	6.662696	0.282903	1.5559655	2.88
35	6.379793	0.277903	1.5284665	2.88
34	6.10189	0.272721	1.4999655	2.88
33	5.829169	0.267368	1.471184	2.88
32	5.561681	0.261747	1.4416065	2.88
31	5.299934	0.255847	1.3884585	2.88
30	5.043787	0.249732	1.359776	2.88
29	4.793255	0.243406	1.323333	2.88
28	4.548649	0.236856	1.302708	2.88
27	4.322793	0.230208	1.276154	2.88
26	4.098765	0.22341	1.249105	2.88
25	3.886655	0.222059	1.2213245	2.88
24	3.641596	0.216752	1.192136	2.88
23	3.424844	0.211038	1.160709	2.88
22	3.21806	0.204906	1.126431	2.88
21	3.009	0.198931	1.0941205	2.88
20	2.810069	0.192767	1.0602185	2.88
19	2.617925	0.186493	1.019913	2.88
18	2.424269	0.180201	1.007806	2.88
17	2.229918	0.173724	0.977632	2.88
16	2.072984	0.172282	0.953951	2.88
15	1.898812	0.168755	0.9281525	2.88
14	1.739057	0.164176	0.902688	2.88
13	1.565881	0.159537	0.8774535	2.88
12	1.406344	0.154846	0.850551	2.88
11	1.251698	0.149799	0.8193845	2.88
10	1.102719	0.144081	0.7924455	2.88
9	0.958638	0.138014	0.759077	2.88
8	0.820624	0.134111	0.737605	2.88
7	0.686514	0.129677	0.7112235	2.88
6	0.556837	0.124541	0.6889755	2.88
5	0.432296	0.118333	0.6697315	2.88
4	0.314163	0.109327	0.6013535	2.88
3	0.204828	0.099955	0.5257625	2.88
2	0.103871	0.077738	0.404559	2.88
1	0.025132	0.025132	0.1923215	2.88

Tabla 13
Desplazamiento Permissible ASCE 7-10

Seismic level "X"	δ at level "x"	$\delta(x)-\delta(x-1) = \delta x$	$\delta_x = \frac{C_d \delta_o}{T_x}$ Design Story Drift	ASCE CODE A(max.in.) = .02"/in
60	15.169432	0.309211	1.7006605	2.88
59	14.860221	0.310174	1.705957	2.88
58	14.550047	0.311479	1.7131345	2.88
57	14.238568	0.312851	1.7208005	2.88
56	13.925717	0.314146	1.727803	2.88
55	13.611571	0.315286	1.734073	2.88
54	13.296285	0.316227	1.7392485	2.88
53	12.980058	0.316946	1.743203	2.88
52	12.663112	0.317429	1.745895	2.88
51	12.345683	0.317673	1.7472015	2.88
50	12.02801	0.317679	1.7472345	2.88
49	11.710331	0.31745	1.745975	2.88
48	11.392881	0.316995	1.7434725	2.88
47	11.075886	0.316317	1.7397435	2.88
46	10.759569	0.315428	1.734854	2.88
45	10.444141	0.314334	1.728837	2.88
44	10.129807	0.313043	1.7217365	2.88
43	9.816764	0.311564	1.713602	2.88
42	9.5052	0.309901	1.7044555	2.88
41	9.195299	0.308062	1.694341	2.88
40	8.887237	0.306052	1.683286	2.88
39	8.581185	0.303875	1.6713125	2.88
38	8.27731	0.301534	1.658437	2.88
37	7.975776	0.299032	1.644676	2.88
36	7.676744	0.296371	1.6300405	2.88
35	7.380373	0.293552	1.614536	2.88
34	7.086821	0.290579	1.5981845	2.88
33	6.796242	0.28745	1.580975	2.88
32	6.508792	0.284168	1.562924	2.88
31	6.224624	0.280733	1.5440115	2.88
30	5.943891	0.277147	1.5243085	2.88
29	5.666744	0.273413	1.5037715	2.88
28	5.393331	0.269531	1.4824205	2.88
27	5.1238	0.265506	1.460283	2.88
26	4.858294	0.261339	1.4373645	2.88
25	4.596953	0.257035	1.4136925	2.88
24	4.33992	0.252596	1.389278	2.88
23	4.087324	0.248028	1.364154	2.88
22	3.839296	0.243333	1.338315	2.88
21	3.595963	0.238514	1.311827	2.88
20	3.357449	0.233575	1.2846225	2.88
19	3.123874	0.228513	1.2568215	2.88
18	2.895361	0.223333	1.2283315	2.88
17	2.672028	0.218028	1.199154	2.88
16	2.454	0.212594	1.169267	2.88
15	2.241406	0.207022	1.138621	2.88
14	2.034384	0.201298	1.107139	2.88
13	1.833086	0.195403	1.0747165	2.88
12	1.637683	0.189309	1.0411995	2.88
11	1.448374	0.182977	1.0063735	2.88
10	1.265397	0.176346	0.969903	2.88
9	1.089051	0.169334	0.931337	2.88
8	0.919717	0.161803	0.8899055	2.88
7	0.757916	0.153833	0.844315	2.88
6	0.604383	0.144166	0.792913	2.88
5	0.460217	0.133072	0.731896	2.88
4	0.327145	0.119146	0.655303	2.88
3	0.207999	0.100439	0.5524145	2.88
2	0.10756	0.073665	0.4051575	2.88
1	0.033895	0.033895	0.1864225	2.88

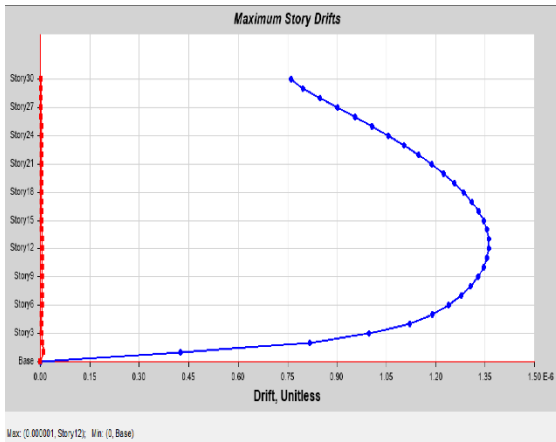


Figura 5
“Maximun Story Drift” para Edificio de 30 Niveles ASCE 7-10

Tabla 14
Desplazamiento Permissible ASCE 7-16

Seismic level "X"	δ at level "x"	$\delta(x)-\delta(x-1) = \delta x$	$\delta_x = \frac{C_d \delta_o}{T_x}$ Design Story Drift	ASCE CODE A(max.in.) = .02"/in
60	15.169432	0.309211	1.7006605	2.88
59	14.860221	0.310174	1.705957	2.88
58	14.550047	0.311479	1.7131345	2.88
57	14.238568	0.312851	1.7208005	2.88
56	13.925717	0.314146	1.727803	2.88
55	13.611571	0.315286	1.734073	2.88
54	13.296285	0.316227	1.7392485	2.88
53	12.980058	0.316946	1.743203	2.88
52	12.663112	0.317429	1.745895	2.88
51	12.345683	0.317673	1.7472015	2.88
50	12.02801	0.317679	1.7472345	2.88
49	11.710331	0.31745	1.745975	2.88
48	11.392881	0.316995	1.7434725	2.88
47	11.075886	0.316317	1.7397435	2.88
46	10.759569	0.315428	1.734854	2.88
45	10.444141	0.314334	1.728837	2.88
44	10.129807	0.313043	1.7217365	2.88
43	9.816764	0.311564	1.713602	2.88
42	9.5052	0.309901	1.7044555	2.88
41	9.195299	0.308062	1.694341	2.88
40	8.887237	0.306052	1.683286	2.88
39	8.581185	0.303875	1.6713125	2.88
38	8.27731	0.301534	1.658437	2.88
37	7.975776	0.299032	1.644676	2.88
36	7.676744	0.296371	1.6300405	2.88
35	7.380373	0.293552	1.614536	2.88
34	7.086821	0.290579	1.5981845	2.88
33	6.796242	0.28745	1.580975	2.88
32	6.508792	0.284168	1.562924	2.88
31	6.224624	0.280733	1.5440115	2.88
30	5.943891	0.277147	1.5243085	2.88
29	5.666744	0.273413	1.5037715	2.88
28	5.393331	0.269531	1.4824205	2.88
27	5.1238	0.265506	1.460283	2.88
26	4.858294	0.261339	1.4373645	2.88
25	4.596953	0.257035	1.4136925	2.88
24	4.33992	0.252596	1.389278	2.88
23	4.087324	0.248028	1.364154	2.88
22	3.839296	0.243333	1.338315	2.88
21	3.595963	0.238514	1.311827	2.88
20	3.357449	0.233575	1.2846225	2.88
19	3.123874	0.228513	1.2568215	2.88
18	2.895361	0.223333	1.2283315	2.88
17	2.672028	0.218028	1.199154	2.88
16	2.454	0.212594	1.169267	2.88
15	2.241406	0.207022	1.138621	2.88
14	2.034384	0.201298	1.107139	2.88
13	1.833086	0.195403	1.0747165	2.88
12	1.637683	0.189309	1.0411995	2.88
11	1.448374	0.182977	1.0063735	2.88
10	1.265397	0.176346	0.969903	2.88
9	1.089051	0.169334	0.931337	2.88
8	0.919717	0.161803	0.8899055	2.88
7	0.757916	0.153833	0.844315	2.88
6	0.604383	0.144166	0.792913	2.88
5	0.460217	0.133072	0.731896	2.88
4	0.327145	0.119146	0.655303	2.88
3	0.207999	0.100439	0.5524145	2.88
2	0.10756	0.073665	0.4051575	2.88
1	0.033895	0.033895	0.1864225	2.88

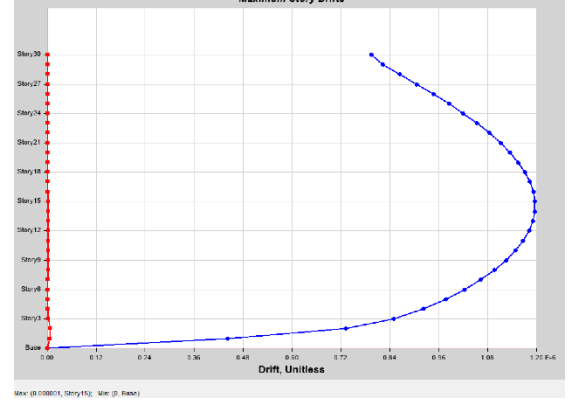


Figura 6
“Maximun Story Drift” para Edificio de 30 Niveles ASCE 7-16

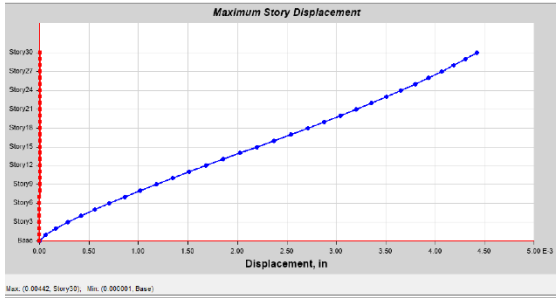


Figura 7

Desplazamiento Max. para Edificio de 30 Niveles ASCE 7-10

Rebar Selection Rules

Beams Columns Piers Spandrels

Non Seismic Seismic

Item	Longitudinal Bars								Stirrups			
	A	B	C	D	E	F	G	H	Zone A	Zone B	Zone C	
Bar Sizes												
Smallest Bar Size	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#3	#3	#3	
Largest Bar Size	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#6	#6	#6	
Preferred Bar Size	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#4	#4	#4	
Bar Quantities												
Minimum Number of Bars	2	0	2	0	0	2	0	0				
Maximum Number of Bars	-	-	-	-	-	-	-	-				
Minimum Spacing (in)									3.00	3.00	3.00	
Maximum Spacing (in)									24.00	24.00	24.00	

Figura 8

Distribucion de Acero en Viga

Beams Columns Piers Spandrels

Non Seismic Seismic

Item	Longitudinal Bars								Stirrups			
	A	B	C	D	E	F	G	H	Zone A	Zone B	Zone C	
Bar Sizes												
Smallest Bar Size	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#3	#3	#3	
Largest Bar Size	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#9	#6	#6	#6	
Preferred Bar Size	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#6	#4	#4	#4	
Bar Quantities												
Minimum Number of Bars	2	0	2	0	0	2	0	0				
Maximum Number of Bars	-	-	-	-	-	-	-	-				
Minimum Spacing (in)									3.00	3.00	3.00	
Maximum Spacing (in)									24.00	24.00	24.00	

Figura 9

Distribución de Acero en Viga

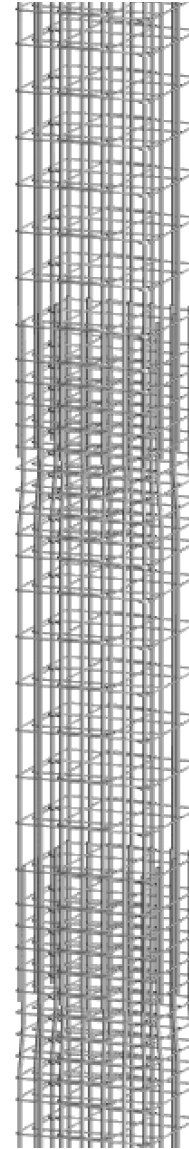


Figura 11

Detalle de Columna

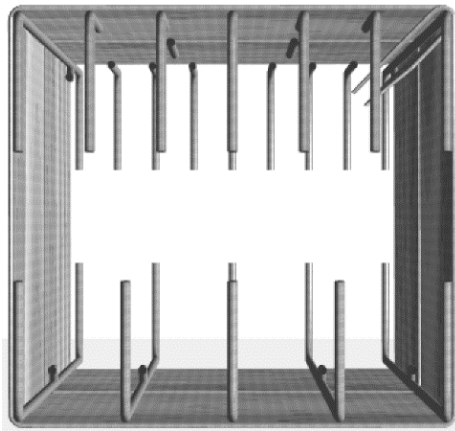


Figura 10

Detalle de Viga

CONCLUSIÓN

En lo que corresponde a la investigación es indicativo que existe un cambio en diseño cuando se utilice el nuevo código, ASCE 7-16. La estructura contempla más rigidez y menor desplazamiento con las actualizaciones de los coeficientes y parámetros, tabla 1 y 2. Los momentos de inercia podran disminuir a la vez que se contemple un “boundary element” en el diseño y dependiendo el tipo de región geográfica y suelo.

El costo para construir el edificio de 30 niveles con el código ASCE 7-10 es de \$12,000,000.00, el

mismo edificio con el código ASCE 7-16 costaría 13,500,000.00 debido a los cambios en dimensiones y restricciones del nuevo código.

REFERENCIAS

- [1] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2010, Dec.). *Earthquake-Resistant Design Concepts (FEMA P-749)* [Online]. https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1759-25045-5477/fema_p_749.pdf.
- [2] E. Strafford, "Earthquake Loads", in *Significant Changes to the Minimum Design Load Provisions of ASCE 7-16*, USA: ASCE press, 2018, ch. 4, pp. 67-68.