

ESTRUCTURA SISMORRESISTENTE CON AISLACIÓN DE BASE: COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA CON TMC Y TD

EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURE WITH BASE ISOLATION: COMPARISON OF SUPERSTRUCTURE DESIGN WITH TMC AND TD

Germán Lucero^a, Juan P. Ascheri^a, Oscar Möller^a

^aInstituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), Facultad Cs.Ex., Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Riobamba y Berutti, 2000 Rosario, Argentina, gerlucerotuc@gmail.com

Palabras clave: Estructuras sismorresistentes, Aislación de base, Dinámica no lineal, Desempeño.

Resumen: Para el dimensionamiento de estructuras sismorresistentes con aislación de base, las especificaciones de los códigos, como el ASCE 7-16, indican la utilización de espectros de diseño asociados al terremoto máximo considerado (TMC) con probabilidad de 2% de ser excedido en 50 años, diferente al diseño tradicional con base fija donde la acción sísmica está definida con el terremoto de diseño (TD) con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años. Esta mayor exigencia se justifica en el diseño de los aisladores porque una falla en estos dispositivos produciría el colapso total de la construcción. En este trabajo se presenta un análisis comparativo entre la superestructura de un edificio de hormigón armado de 3 niveles con aislación de base diseñada a partir del TMC y del TD. El desempeño de ambas soluciones se evalúa mediante análisis dinámico no lineal con un conjunto de 15 terremotos históricos escalados al TMC y al TD. Se comparan consumo de materiales y costos obteniéndose conclusiones de interés práctico.

Keywords: Seismic resistant structures, Base isolation, Nonlinear dynamics, Performance.

Abstract: For the dimensioning of seismic-resistant structures with base isolation, code specifications, such as ASCE 7-16, indicate the use of design spectra associated with the maximum considered earthquake (TMC) with a 2% probability of being exceeded in 50 years, different from the traditional design with a fixed base where the seismic action is defined with the design earthquake (TD) with a 10% probability of being exceeded in 50 years. This greater requirement is justified in the design of the isolators because a failure in these devices would cause the total collapse of the construction. This paper presents a comparative analysis between the superstructure of a 3-story reinforced concrete building with base insulation designed from the TMC and the TD. The performance of both solutions is evaluated by nonlinear dynamic analysis with a set of 15 historical earthquakes scaled to TMC and TD. Quantity of materials and costs are compared, obtaining conclusions of practical interest.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la aislación sísmica, también referida como aislación de base, es el desacoplamiento de la respuesta de la estructura a los daños potenciales de la acción sísmica. Este desacoplamiento puede dar como resultado una respuesta significativamente menor respecto a la de un edificio de base fija convencional (Naeim and Kelly, 1999) porque: (a) El periodo fundamental de vibración del sistema aumenta, reduciendo significativamente la demanda de pseudoaceleraciones; (b) Se puede incrementar el amortiguamiento en función de los dispositivos utilizados, produciendo otra reducción adicional de la acción sísmica. (c) Los desplazamientos totales se incrementan, pero se disminuyen las distorsiones de piso.

La edición del ASCE 7-16 provee los lineamientos del diseño y dimensionamiento de estructuras sismorresistentes con aislación de base a partir de la utilización de espectros de diseño asociados al terremoto máximo considerado (TMC) con probabilidad de 2% de ser excedido en 50 años, diferente al diseño tradicional con base fija donde la acción sísmica está definida con el terremoto de diseño (TD) con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años. El espectro para TMC se obtiene amplificando por 1.50 el espectro del TD.

La motivación de este trabajo es analizar cuantitativamente las diferencias entre la superestructura diseñada para el TMC, perteneciente a estructura aislada, frente al diseño basado en el TD como se exige a las estructuras de base fija. Otros países, como Japón, (Seki, Matsutaro, 2022) define a la fuerza de corte de diseño para la superestructura como αV_{ELA} , $\alpha = 1.3$, a partir de un período de retorno de 500 años (estimado). Liu y otros (2006) realizan un estudio comparativo de diferentes códigos internacionales y el período de retorno para la carga sísmica considerada difiere según la sismicidad de cada región. En esta línea, Pietra y otros (2015) comparan los códigos de Japón, Estados Unidos e Italia, en el cual, muestran que el corte en la base se determina de distintas formas, y con distintos requerimientos de ductilidad, Japón con factor de reducción $R=1$ (elástico), Estados Unidos, con máximo $R=2$ e Italia, con máximo $R=1.5$. Feng y otros (2012), proponen un procedimiento de diseño para edificaciones aisladas en base a los códigos internacionales, en donde introducen una carga sísmica con un período de retorno de 2475 años para el sistema de aislación y un coeficiente numérico para la carga sísmica con período de retorno de 475 años para la superestructura, como los códigos de China de 2010 e Italia de 2008.

Se estudia un edificio de 3 niveles con aislación de base con dos alternativas de diseño de la superestructura, una basada en el TMC y la otra con el TD. Se divide en: (a) características generales de la estructura, sistema de aislación, superestructura con TMC y TD, y la acción sísmica correspondiente, (b) el dimensionamiento de las superestructuras, detalles de armaduras y cuantías, (c) costo económico de los elementos resistentes y (d) desempeño de la estructura a través de análisis dinámico no lineal con modelo numérico desarrollado en OpenSees.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La estructura posee tres niveles, cuya medida en planta son 10.5x4.5 m, ubicada en zona sísmica 4, tipo de suelo 2. Los sistemas resistentes son, en la dirección X, dos pórticos y en la dirección Y, tres pórticos de hormigón armado. Se destina a oficinas, con altura total de 10 m y superficie cubierta de 142 m².

2.1. Diseño de la estructura

Posterior a un predimensionamiento, las secciones adoptadas para la estructura son: columnas esquineras piso inferior 40x40 cm y 35x35 cm en pisos superiores. Las columnas centrales 30x30 cm en todos los pisos. Todas las vigas son de 20x40 cm. La calidad del

hormigón es H25 ($f'_c = 25 MPa$) y acero ADN420 ($f_y = 420 MPa$). Se considera la rigidez efectiva de la sección, disminuyendo la inercia de la sección bruta, en el cual, para vigas es de $0.40I_g$, y para columnas $0.6I_g$. En Figura 1 se muestra planta tipo y corte longitudinal.

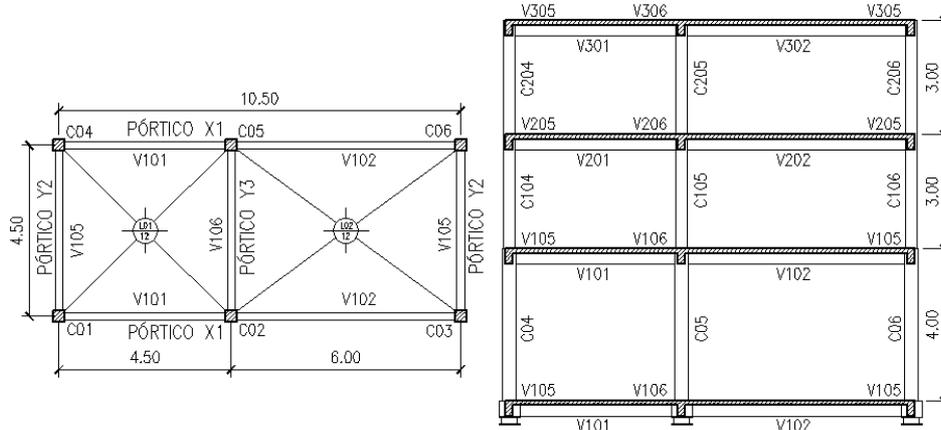


Figura 1: Planta tipo y corte longitudinal

2.2. Diseño del sistema de aislación

El sistema de aislación se diseña a partir del Terremoto Máximo Considerado (TMC) para ambas alternativas. El sistema debe ser capaz de resistir el *desplazamiento máximo* D_M , determinado en la dirección más crítica de la respuesta horizontal, que se calcula a partir:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4 \pi^2 B_M} = \frac{9.81 \cdot 1.06 \cdot 2.6}{4 \pi^2 \cdot 1.8} = 0.38 \text{ m} \tag{1}$$

Siendo: g : aceleración de la gravedad; S_{M1} : ordenada de pseudoaceleración espectral para el TMC, para 5% de amortiguamiento y para período de 1 segundo en unidades g ; T_M : período efectivo propuesto para la estructura aislada sísmicamente para el desplazamiento D_M ; B_M : coeficiente de amortiguamiento que depende del amortiguamiento efectivo β_M . Además, se considera un desplazamiento total máximo D_{TM} , para incluir a la torsión.

$$D_{TM} \geq 1.15 D_M \tag{2}$$

El diseño y dimensionamiento del sistema de aislamiento es un proceso iterativo. El resultado del proceso es un aislador del tipo HDR (High Damping Rubber) de diámetro 550 mm y altura 250 mm. Las propiedades mecánicas se obtienen del catálogo de Bridgestone.

Con el objetivo de considerar los efectos de variación de los parámetros de diseño nominal debido a velocidad de deformación, envejecimiento, etc., se aplican límites λ superior e inferior sobre las características nominales de Q_d , fuerza para desplazamiento nulo, y K_2 , rigidez postfluencia, ver Figura.2. El ciclo de histeré시스 se debe recalcul para ambos límites.

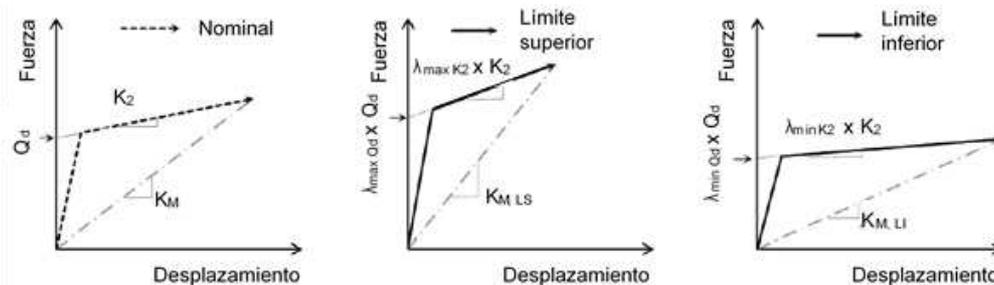


Figura 2: Variación de parámetros nominales. Límite superior y límite inferior

2.3. Acciones gravitatorias

Se adopta espesor de 12 cm de losa, 7 cm de contrapiso, 3 cm de carpeta y piso cerámico, cuya suma $q_D = 4.8 \text{ KN/m}^2$. La sobrecarga viva es $q_L = 2.0 \text{ KN/m}^2$. Los valores nominales se obtienen del CIRSOC 101. La combinación para cargas gravitatorias determinante es $U_1 = 1.2D + 1.6L$.

2.4. Acciones sísmicas

La estructura por encima del sistema de aislación se diseña con una fuerza de corte mínima

$$V_s = V_{st} / R_I \quad (3)$$

Siendo: V_s : corte en la superestructura; R_I factor de reducción global con límites entre 1 y 2. Resulta $R_I = 3/8 \cdot 7 = 2.6 \rightarrow R_I = 2$; V_{st} : corte en los elementos de la superestructura que se obtiene como

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{1-2.5\beta_M} \quad (4)$$

Donde W es el peso de la estructura por encima del sistema de aislamiento, y W_s es el peso de la estructura por encima del sistema de aislamiento, pero excluyendo el peso del nivel inmediatamente por encima de los dispositivos de aislamiento.

La fuerza sísmica se distribuye a lo largo de la altura de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$F_0 = \frac{V_b - V_{st}}{R_I}, \quad F_x = C_{vx} V_s, \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}, \quad k = 14 \beta_M T_{fb} \quad (5)$$

Siendo F_0 la fuerza sísmica lateral del nivel 0 que es el nivel inmediatamente por encima del sistema de aislación; F_x es la fuerza sísmica lateral del nivel x ($x > 0$); C_{vx} es el coeficiente de distribución vertical; V_s es la fuerza de corte en elementos de la superestructura; w_x es la parte de W_s que se encuentra en nivel i o x ; h_x es la altura por encima de la interfaz de aislamiento de nivel i o x ; T_{fb} es el período fundamental de la superestructura en segundos obtenido mediante análisis dinámico y admitiendo condiciones de base fija; β_M es el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento para D_M . En la Tabla 1 se presentan algunos resultados.

3. DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS

3.1. Vigas y columnas diseñadas a partir del TMC y TD

Se dimensionan las dos alternativas con ductilidad limitada según el IC 103. Las combinaciones utilizadas para la superestructura son $U_i : D + 0.25L \pm E$, y $E = E_H \pm E_V$.

En Tabla 2 se muestra el área necesaria ($A_{s\text{nec}}$) de vigas en zonas críticas, posterior a la redistribución de esfuerzos, la relación de sección entre una alternativa y la otra y un promedio de estas relaciones. Los diámetros adoptados para vigas se indican en Figura 3 y en Figura 4. La armadura transversal en vigas para los dos casos son estribos cerrados. En zona crítica: Ø6 cada 9 cm, y en zona normal: Ø6 cada 18 cm. En columnas, se muestran los diámetros adoptados en Figura 5. La armadura transversal en columnas esquineras y centrales, en planta baja, Ø8 cada 12 cm, y en zona normal: Ø8 cada 15 cm, y en pisos superiores Ø8 cada 12 cm, y en zona normal: Ø6 cada 15 cm para ambas alternativas.

Aislación	TMC		TMC		Unidad
Estructura	TMC		TD		
Límite	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
Diámetro	0.55	0.55	0.55	0.55	m
T_M	2.922	2.340	2.386	1.919	s
D_M	0.488	0.345	0.267	0.194	m
V_{st}	422.2	482.0	321.6	372.4	KN
V_s	211.1	241.0	160.8	186.2	KN
V_b / R_l	257.6	284.6	196.6	220.9	KN
F_3	99.0	122.2	75.0	93.5	KN
F_2	72.7	81.2	55.4	62.9	KN
F_1	39.4	37.6	30.3	29.8	KN
F_0	46.5	43.6	35.8	34.7	KN
ΣF	257.6	284.6	196.6	220.9	KN

Tabla 1: Fuerzas laterales para estructura

AS _{nec}	TMC [cm ²]				TD [cm ²]				Relación AS _{nec} TMC / AS _{nec} TD				Prom.
	Izq. Sup.	Der. Sup.	Izq. Inf.	Der. Inf.	Izq. Sup.	Der. Sup.	Izq. Inf.	Der. Inf.					
V301	2.20	2.41	1.89	2.41	1.91	2.24	1.67	2.24	1.15	1.08	1.13	1.08	1.05
V302	2.16	2.37	1.23	1.44	1.90	2.20	0.86	1.17	1.14	1.07	1.44	1.23	
V201	4.47	4.62	3.49	4.62	3.98	4.74	3.17	2.80	1.12	0.97	1.10	1.65	
V202	4.40	4.56	1.91	2.61	4.01	4.53	1.48	1.81	1.10	1.01	1.29	1.44	
V101	4.81	5.44	4.24	4.65	4.69	5.16	4.72	4.04	1.02	1.05	0.90	1.15	
V102	4.78	5.39	3.16	3.50	4.87	4.93	2.44	2.98	0.98	1.09	1.29	1.18	
V305	2.66	2.66	3.12	3.12	2.06	2.06	2.15	2.15	1.29	1.29	1.45	1.45	
V205	3.87	3.87	3.86	3.86	3.79	3.79	3.59	3.59	1.02	1.02	1.08	1.08	
V105	3.98	3.98	4.09	4.09	4.46	4.46	4.77	4.77	0.89	0.89	0.86	0.86	
V306	2.05	2.05	0.16	0.16	2.75	2.75	1.32	1.32	0.74	0.74	0.12	0.12	
V206	4.30	4.30	2.32	2.32	4.09	4.09	3.04	3.04	1.05	1.05	0.76	0.76	
V106	4.40	4.40	4.17	4.17	4.47	4.47	3.62	3.62	0.98	0.98	1.15	1.15	

Tabla 2: Armadura necesaria en zonas críticas de vigas

Se observa que el área necesaria entre la superestructura diseñada a partir del TMC es aproximadamente 5% mayor que la del TD. Sin embargo, debido a la adopción de diámetros comerciales, esta relación puede variar. En las zonas donde ésta es mayor para el TD que para el TMC, se debe a la redistribución de esfuerzos.

3.2. Cuantías

En Tabla 3, se observa que cuando la estructura es diseñada a partir del Terremoto Máximo Considerado, la cuantía en vigas adoptada es un 3.7% superior que si se diseña a partir del Terremoto de Diseño. En cuanto a las columnas, la relación asciende a un 9.7%.

RESUMEN	TMC	TD	RESUMEN	TMC	TD
VIGAS	[kg/m ³]	[kg/m ³]	COLUMNAS	[kg/m ³]	[kg/m ³]
NIVEL 3	85.67	79.46	C1	116.58	106.25
NIVEL 2	110.11	106.62	C2	178.11	162.33
NIVEL 1	125.14	121.98	C3	116.58	106.25
NIVEL 0	125.14	121.98	C4	116.58	106.25
			C5	178.11	162.33
			C6	116.58	106.25
PROMEDIO	111.52	107.51	PROMEDIO	137.09	124.94

Tabla 3: Cuantía de vigas y columnas

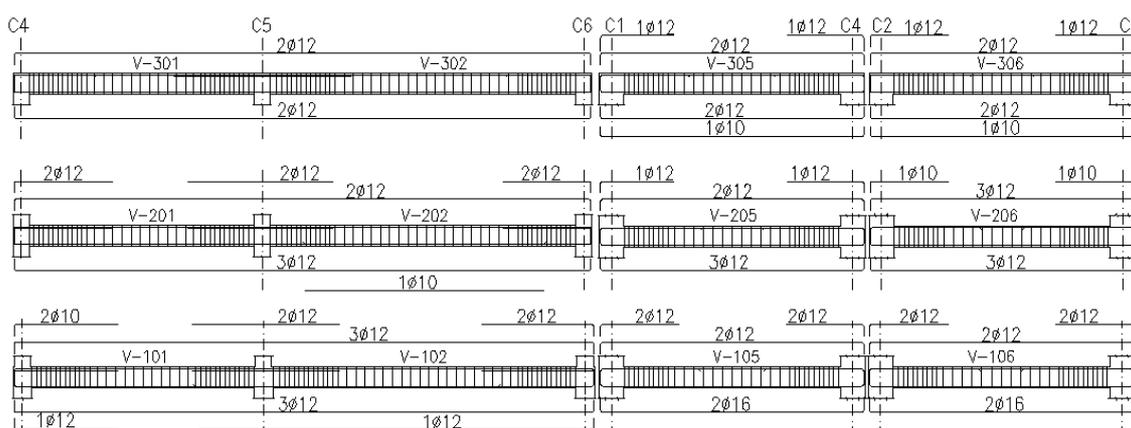


Figura 3: Armaduras para vigas con TMC

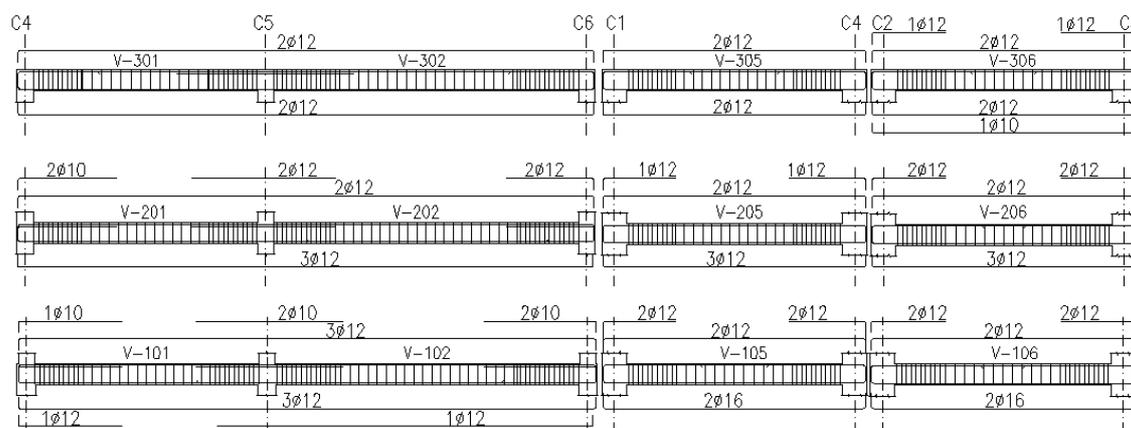


Figura 4: Armaduras para vigas con TD

4. COMPARACIÓN ECONOMICA

Se analizan los costos de ambas superestructuras, ver Tabla 4. En primer lugar, se analiza el costo de vigas y columnas; en segundo lugar, vigas, columnas y aisladores; y por último, el costo de todos los elementos estructurales. Los precios fijados son de agosto del 2023. El costo del sistema de aislación se computa a 30 us\$ / m².

El costo de vigas y columnas, para la estructura diseñada a partir del TMC es levemente superior que la de TD en un 2.85%. Cuando se considera el sistema de aislamiento, la diferencia se reduce a un 1.43%. Y en el total de la estructura, a un 0.94%. El costo directo de toda la construcción es de \$ 32960913 para el TMC y \$ 32860136 para el TD. La diferencia es del 0.30%. Para este ejemplo, el costo de la estructura y el sistema de aislación, representa un 25.20% y 12.47% para el TMC, y un 24.97% y 12.51% para el TD, del total.

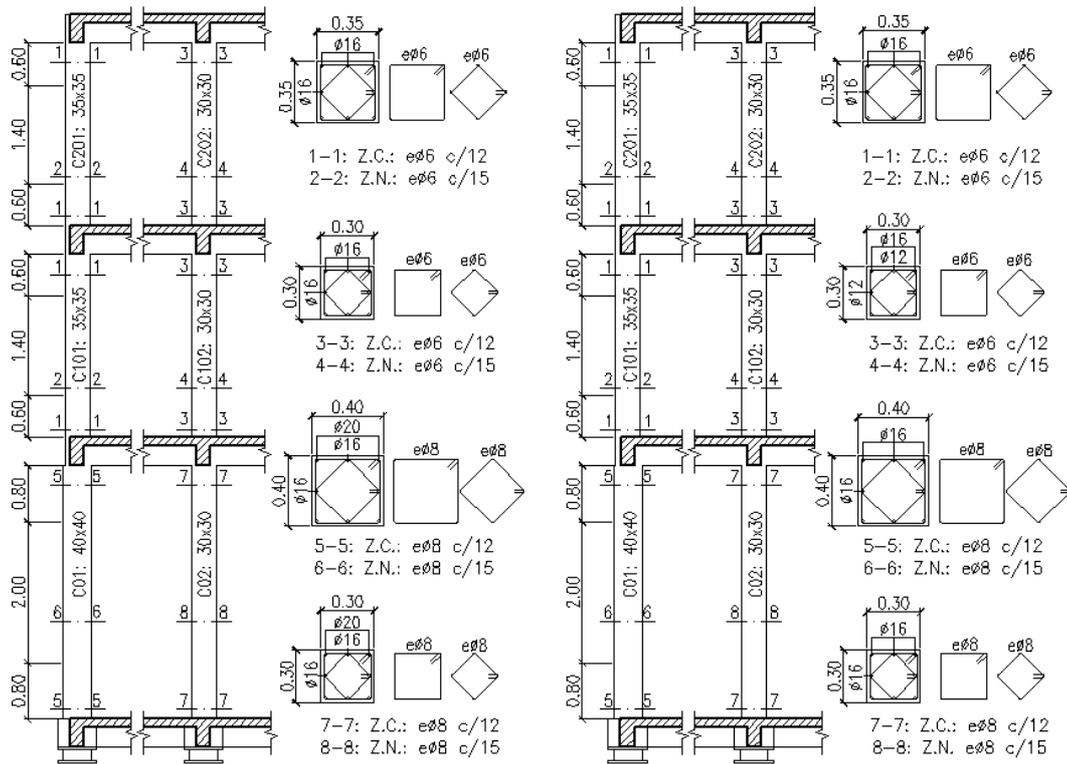


Figura 5: Armaduras para columnas con TMC y con TD

Estructura	TMC				TD			
	Costo de estructura				Costo de estructura			
Elemento	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia
Vigas	10.27	111.5	2659539	61.9%	10.27	107.5	2620769	62.7%
Columnas	7.30	131.8	1636506	38.1%	7.30	120.1	1556177	37.3%
Total	-	-	4296045	100.0%	-	-	4176945	100.0%
Costo de estructura con aisladores				Costo de estructura con aisladores				
Elemento	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia
Vigas	10.27	111.5	2659539	31.6%	10.27	107.5	2620769	31.6%
Columnas	7.30	131.8	1636506	19.5%	7.30	120.1	1556177	18.8%
Aisladores	-	-	4110750	48.9%	-	-	4110750	49.6%
Total	-	-	8406795	100.0%	-	-	8287695	100.0%
Costo total de estructura				Costo total de estructura				
Elemento	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia	H° m³	Cuantía kg/m³	Costo \$	Incidencia
Vigas	10.27	111.5	2659539	20.9%	10.27	107.5	2620769	20.8%
Columnas	7.30	131.8	1636506	12.9%	7.30	120.1	1556177	12.3%
Fund.	9.05	89.2	961471	7.6%	9.05	89.2	961471	7.6%
Losas	20.93	70.0	3353902	26.4%	20.93	70.0	3353902	26.6%
Aisladores	-	-	4110750	32.3%	-	-	4110750	32.6%
Total	-	-	12722168	100.0%	-	-	12603068	100.0%

Tabla 4: Costo de estructura

5. DESEMPEÑO

Una vez dimensionada las estructuras con el método estático equivalente, se construye un modelo numérico con el software de libre acceso OpenSees (2020). Para las vigas y columnas se utilizan elementos tipo “element forceBeamColumn”. Las secciones se discretizan en fibras rectangulares de hormigón “patch quad”, en una cantidad suficiente para representar el comportamiento del recubrimiento y la zona confinada, y capas de armadura con “layer straight” o fibra de acero para cada barra de armadura individual con “fiber”. Para las fibras de hormigón se utiliza el modelo “uniaxialMaterial Concrete04”. Para las fibras de acero aplicó el modelo “uniaxialMaterial ReinforcingSteel”. Los aisladores se modelizan con “element elastomericBearingBoucWen” de acuerdo con las dimensiones y parámetros del neopreno utilizado. Para mayor información, ver Möller y otros (2022).

De la base de datos de PEER (2019) se seleccionan 15 registros de terremotos ocurridos con el criterio que la forma del espectro medio sea similar en el entorno del período en interés al espectro del TD. La primera alternativa es excitada con acelerogramas escalados con el TMC y la segunda con acelerogramas escalados con el TD.

En Figura 6 se indican los desplazamientos para ambas estructuras, en el piso 0, es decir a la altura inmediatamente superior del sistema de aislación, y en el piso 3 equivalente a la máxima altura de la edificación. En Figura 7 se muestra la distorsión de piso en la dirección X del centro de masa en el piso 1 y piso 2. En Figura 8, se muestra la distorsión del centro de masa del piso 3 e índice de daño global de la estructura.

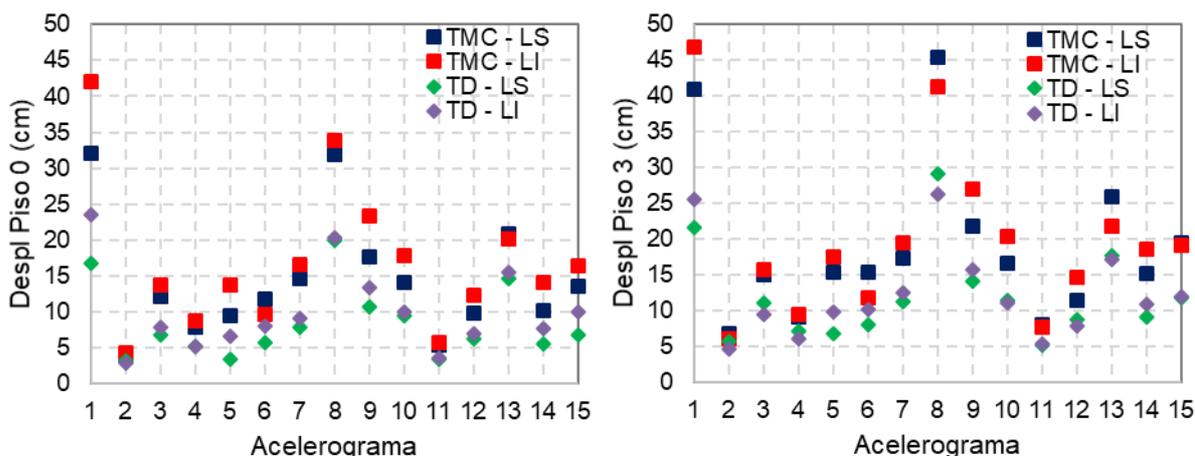


Figura 6: Desplazamiento en nivel 0 y nivel 3 en Centro de Masa en dirección X

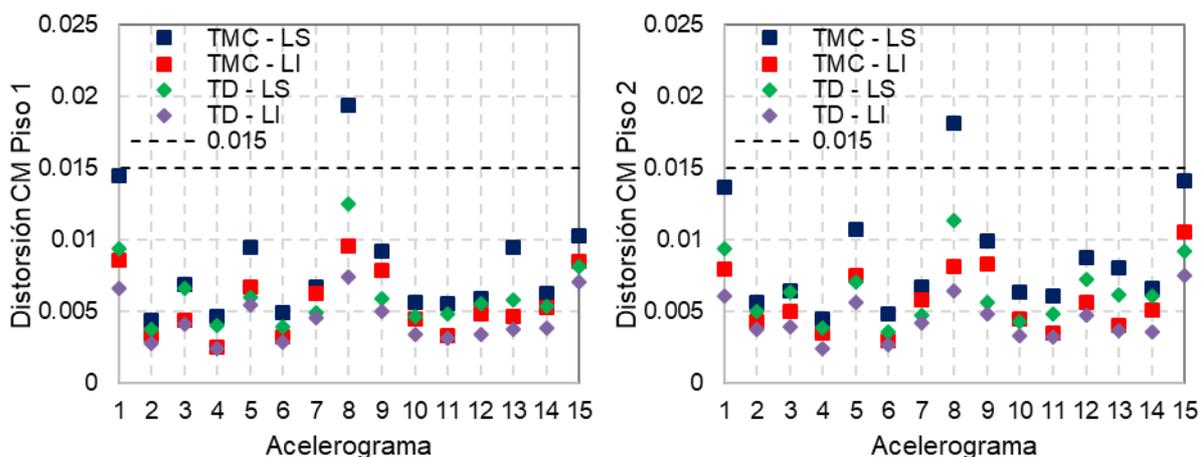


Figura 7: Distorsión de piso en dirección X del centro de masa de los pisos 1 y 2

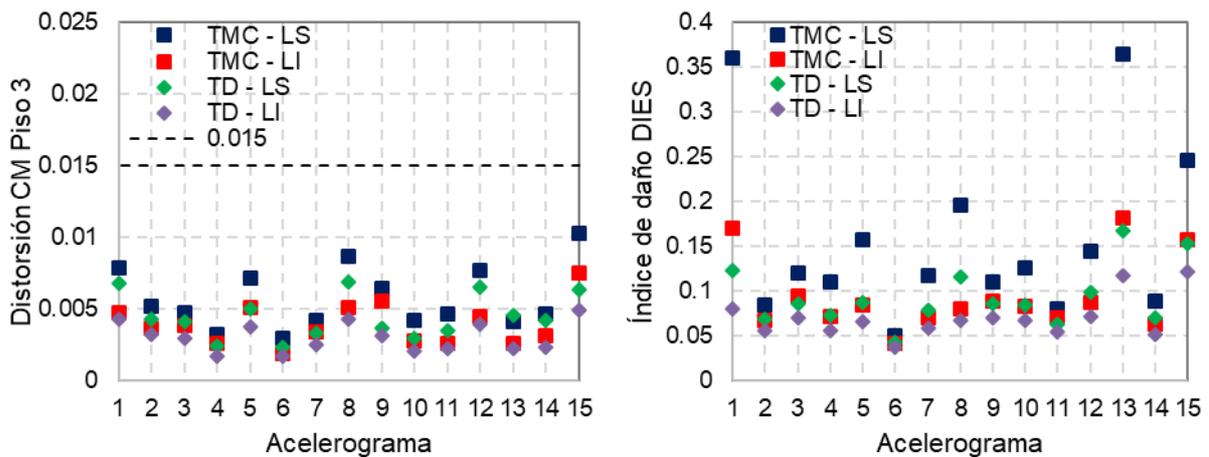


Figura 8: Distorsión de piso en X del centro de masa del piso 3; Índice de daño global de la estructura

Se observa en el piso 0 para el TMC, que el desplazamiento máximo es mayor para el límite inferior de los parámetros de los aisladores en 13 de los 15 acelerogramas. Para el TD, la tendencia es similar, en el cual 13 de los 15 acelerogramas el desplazamiento es mayor en el límite inferior que en el superior. La mayor flexibilidad de los aisladores produce mayores desplazamientos, aun cuando aumenta el periodo del sistema y disminuyen las ordenadas espectrales. Cuando se analiza el piso 3 para el TMC, el desplazamiento es mayor para el límite inferior en 9 de los 15 acelerogramas, mientras que para el TD el desplazamiento es mayor en 8 de los 15 en el límite inferior. Se debe a que ahora influye la mayor fuerza transmitida por los aisladores más rígidos y que también producen mayor distorsión de piso.

En cuanto a la distorsión, se observa que sólo un registro excede el valor límite reglamentario para los elementos estructurales 0.015. El promedio de las distorsiones para el TMC es 0.0069, 0.0072 y 0.0048 para primer, segundo y tercer piso, mientras que para el TD es 0.0052, 0.0054 y 0.0037, todos dentro los límites aceptables. Para ambas alternativas, la distorsión es similar en los dos primeros pisos, mientras que disminuye en el tercer piso. Cuando se analiza el índice de daño global de la estructura, valores máximos de 0.36 se obtuvieron con el límite superior de los aisladores para TMC y 0.16 para TD. El promedio es 0.125 y 0.081 para el TMC y TD respectivamente. Si bien el diseño para TMC se realiza con mayores fuerzas estáticas equivalentes, luego en el análisis dinámico no lineal se observa mayor incursión en el campo plástico y en consecuencia mayor daño.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se comparan dos alternativas de diseño para la superestructura de una estructura con aislación de base, una con TMC y otra con TD. En ambos casos el sistema de aislación se diseñó para el TMC. Las dos alternativas tienen las mismas dimensiones de secciones de hormigón pero diferentes armaduras. Las principales conclusiones obtenidas para este ejemplo son:

- Es muy importante la influencia del límite superior y límite inferior de los parámetros de los aisladores sobre el periodo de vibración del sistema. Además, la rigidez efectiva de los aisladores dependen del desplazamiento máximo que es menor para el TD que para el TMC, y esta diferencia también impacta sobre los valores de los periodos de vibración, y luego sobre las fuerzas estáticas equivalentes. Para este ejemplo el periodo varía desde $T = 2.92$ s para TMC y límite inferior, hasta $T = 1.91$ para TD y límite superior.

- El corte para el diseño de la superestructura con TMC es de 257.6 y 284.6 kN para límite inferior y superior, mientras que para TD es de 196.6 y 220.9 kN, es decir 24% menor para

ambos límites. Estas fuerzas producen diferencias en cuantías de acero de 4% en vigas y 10% en columnas, menor para el TD.

- Respecto al costo directo de toda la construcción, la alternativa para el TMC es superior solamente en un 0.30% que para la alternativa con el TD. La diferencia económica es pequeña en el global entre ambas alternativas, aunque esto puede ser influenciado por el esquema regular y baja altura de la edificación.

- Las distorsiones de piso de este ejemplo resultaron en promedio 0.0069 para el TMC y 0.0052 para el TD, valores bastante inferiores al límite reglamentario de 0.015 con el que se realizó el diseño. La utilización de rigideces reducidas según el IC 103 para realizar el análisis estático equivalente aparece como muy exigente para estructuras aisladas, que van a tener índice de daño pequeño, promedio 0.125 y 0.081 para TMC y TD en este ejemplo. De utilizar mayores rigideces, se podría controlar la distorsión de piso con secciones más reducidas.

- La alternativa del ASCE 7-16, aislación y superestructura diseñada con TMC, tiene como ventaja que los acelerogramas son escalados a un único espectro y no a dos distintos.

- En futuros trabajos se trabajarán otras configuraciones estructurales, pórticos y tabiques, con distintas alturas y secciones en planta.

REFERENCIAS

- ASCE 7-16. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. *American Society of Civil Engineers*, 2016.
- Feng, D., Miyama, T., Liu, W., Chan T.. "A New Design Procedure for seismically isolated buildings based on seismic isolation codes worldwide", 15 WCEE, Lisboa. 2012
- Liu, W., Feng, D., Masuda, K., Wang, S. Yang, Q., "A comparative study of seismic isolation codes worldwide". First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Suiza, 2006
- Möller, O., Ascheri, J.P., Lucero, G., "Análisis dinámico no lineal de estructuras de edificios con aislación de base". *Mecánica Computacional Vol. XXXIX*, pág. 593-602, OCSID 7267, AMCA, 2022
- Naeim, F., Kelly, J.M. *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- Open Sees. The Open System for Earthquake Engineering Simulation 3.2.2-x64, *Pacific Earthquake Engineering Research Center University of California, Berkeley*, 2020. <https://opensees.berkeley.edu/>
- Pietra, D., Pampanin, S., Mayes, R.L., Wetzel N.G., Feng, D. "Design of Base-Isolated Buildings: An Overview of International Codes. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering- 2015.
- Seki, Matsutaro. Tecnología de control de vibraciones y aislamiento sísmico para edificios. *Workshop on line Chile-Japón, ACHISINA*, 2022.