

Proposal of parameters for the design of seismic insulators through a comparative analysis of the seismic response of an essential building with anti-seismic isolation under various international standards

A Rosales¹, J Sandivar¹, J. Orihuela¹

¹Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú
u201517261@upc.edu.pe, u201420430@upc.edu.pe, pccijori@upc.edu.pe

Abstract- This study proposes parameters for the design of elastomeric insulators (LRB) according to the seismic response of an essential building that has seismic isolation devices at its base. The structure analysis is carried out according to the criteria and specifications of two South American standards for seismic isolation and the North American standard. As a preliminary model, the structural modeling of the building with a fixed base is performed, the results are obtained according to the dynamic spectral modal analysis and the time history analysis with three severe seismic registers. Then, the LRB insulators are designed and the models are made with an isolated base under the parameters and criteria of the international standards analysis. Based on these models, a general proposal is made of the design parameters of the LRB insulators for countries that are in a highly seismic zone and do not have a standard for their design. Finally, the comparison of cutting forces, displacements and drifts is made; through which it will be possible to discuss whether the proposed parameters are conservative based on the structural performance of the building.

Keywords- Essential buildings, LRB insulators, parameters, seismic structures, seismic response, performance.

Propuesta de parámetros para el diseño de aisladores sísmicos mediante un análisis comparativo de la respuesta sísmica de una edificación esencial con aislamiento antisísmico bajo diversas normas internacionales

A Rosales¹, J Sandivar¹, J. Orihuela¹

¹Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú
u201517261@upc.edu.pe, u201420430@upc.edu.pe, pccijori@upc.edu.pe

Resumen- En este estudio se proponen parámetros para el diseño de aisladores elastoméricos (LRB) según la respuesta sísmica de una edificación esencial que tiene dispositivos de aislación sísmica en su base, para ello se realiza el análisis de la estructura según los criterios y especificaciones de dos normas sudamericanas de aislamiento sísmico y la norma norteamericana. Como modelo preliminar se realiza la modelación estructural de un edificio con base fija, se obtiene los resultados según el análisis dinámico modal espectral y el análisis tiempo historia con tres registros de eventos telúricos; luego, se procede a diseñar los aisladores LRB y se realiza los modelos con base aislada bajo los parámetros y criterios de los análisis de las normas internacionales. En base a estos modelos se realiza una propuesta general de los parámetros de diseño de los aisladores LRB para países que se encuentran en una zona altamente sísmica y no cuentan con una norma para su diseño. Por último, se realiza la comparación de las fuerzas cortantes, desplazamientos y derivas; mediante el cual se podrá discutir si los parámetros propuestos son conservadores en función al desempeño estructural de la edificación.

Palabras clave- Edificaciones esenciales, aislamiento sísmico, aisladores LRB, parámetros de diseño internacionales, predimensionamiento de aisladores, estructuras antisísmicas, respuesta sísmica, desempeño.

Abstract- This study proposes parameters for the design of elastomeric insulators (LRB) according to the seismic response of an essential building that has seismic isolation devices at its base. The structure analysis is carried out according to the criteria and specifications of two South American standards for seismic isolation and the North American standard. As a preliminary model, the structural modeling of the building with a fixed base is performed, the results are obtained according to the dynamic spectral modal analysis and the time history analysis with three of telluric events. Then, the LRB insulators are designed and the models are made with an isolated base under the parameters and criteria of the international standards analysis. Based on these models, a general proposal is made of the design parameters of the LRB insulators for countries that are in a highly seismic zone and do not have a standard for their design. Finally, the comparison of cutting forces, displacements and drifts is made; through which it will be possible to discuss whether the proposed parameters are conservative based on the structural performance of the building.

Keywords- Essential buildings, seismic isolation, LRB insulators, international design parameters, pre-sizing of seismic isolators, seismic structures, seismic response, performance.

I. INTRODUCCIÓN

Los terremotos pueden generar diversos daños en una estructura, poniendo en riesgo la vida humana, consecuencia de

ello se generan pérdidas humanas y económicas. Todos los edificios deben ser diseñados antisísmicamente; sin embargo, existen edificaciones que deben asegurar su funcionamiento durante y después de un sismo; un ejemplo por excelencia que deben resistir sismos de gran magnitud son las edificaciones del sector salud, que cumplen un rol fundamental, luego de ocurrido el movimiento telúrico [1]. Actualmente existen dispositivos antisísmicos modernos que garantizan un mejor desempeño sísmico de la estructura y como consecuencia brindan mejor seguridad a la vida humana; estos sistemas de protección son los aisladores sísmicos y disipadores de energía. El aislamiento en la base es una técnica para mejorar el rendimiento de las estructuras durante los terremotos. Esta tecnología separa la estructura de la tierra a través de soportes flexibles con el fin de reducir los efectos sísmicos en la superestructura [2].

No todos los países que son considerados altamente sísmicos cuentan con una norma de análisis y diseño de edificaciones con aislamiento. Los países más desarrollados tienen una normativa propia para aislación basal, sin embargo, existen diferencias en aspectos muy importantes, tales como los criterios de las metodologías de análisis y diseño, el nivel de desempeño requerido y aceptado en la estructura, las exigencias de revisión y ensayos para la aprobación del diseño [3,4]. Los países que no cuentan con dicha normativa siguen basándose en otras normas ya establecidas; otros las están adaptando a la realidad de su país, porque no reflejan los aspectos técnicos y económicos locales, ni consideran la sismicidad del país [5]. Este es el caso de la reciente norma aprobada de aislamiento sísmico la norma peruana E031.

En este estudio se realiza un análisis comparativo de tres normas: la norma chilena NCH 2745, la norma peruana E031 y la norma norteamericana ASCE-7, con el objetivo de proponer parámetros de diseño para los aisladores que pueden ser usados en países que aún no cuentan con una normativa de aislamiento sísmico. Primeramente, se establecen los parámetros y consideraciones generales de las tres normas; posteriormente se realiza computacionalmente el diseño y modelación de estructuras, para luego obtener la respuesta sísmica de estas. Para los resultados y validación se considera una estructura hospitalaria, de base fija y base aislada. Se obtienen las fuerzas cortantes y las derivas del modelo. A partir de los resultados obtenidos, se formulan conclusiones y recomendaciones que proporcionan una visión general de los principales códigos internacionales para el diseño de aisladores en edificios, así

como de sus requisitos de diseño estructural y métodos de cálculo.

II. MÉTODO

A. PRINCIPALES PARAMETROS DE DISEÑO

Se ha realizado la comparación de tres códigos internacionales de aislamiento sísmico: E031, NCH2745 y ASCE-SEI-7, y se determinaron los principales parámetros de diseño que difieren según cada norma.

a) Nivel de amenaza sísmica

La amenaza sísmica es una variable probabilística, es la probabilidad de una mayor amenaza en un tiempo determinado y en una zona de interés [5]. Según las normas:

i. ASCE- SEI-7

Se consideran dos tipos de amenazas sísmicas. El primero es del sismo de diseño (SDI) que es utilizado para diseñar la superestructura, su probabilidad de excedencia es de 10% en 50 años con un tiempo de retorno (TR) de 475 años. El otro es el sismo máximo considerado (MCE) que se utiliza en el diseño y verificación de estabilidad del sistema de aislación, este tiene una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años con TR de 2475 años [6].

ii. NCH2745

Al igual que la norma Norteamérica la norma chilena tiene dos niveles de amenazas. El SDI tiene las mismas características que la norma ASCE y el otro nivel es el sismo máximo posible (SMP) empleado para calcular el desplazamiento total máximo en el sistema de aislación, con una probabilidad de excedencia de 10% en 100 años (TR=950) [7].

iii. E031

La norma sólo hace referencia al sismo máximo considerado (SMC) y es definido como 1.5 veces el sismo de diseño (SDI) según lo indicado en la norma peruana E.030 [8].

b) Clasificación de suelos

La Tabla 1. Muestra la comparación de la clasificación de los suelos según las normas estudiadas.

Tabla 1. Clasificación de tipos suelos.

NORMA	TIPO DE SUELO	\bar{v}_s
ASCE	A: Roca dura	> 1524 m/s
	B: Roca	762 m/s a 1524 m/s
	C: Suelo muy denso o roca blanda	365 m/s a 762 m/s
	D: Suelo Rígido	180 m/s a 365 m/s
	E: Suelo arcilloso blando	< 180 m/s
NC2745	I. Roca dura	Adaptado de NCH433
	II: Suelos rígidos	
	III: Suelos blandos	
E031	S0: Roca dura	>1500 m/s
	S1: Roca o suelos rígidos	500 m/s a 1500 m/s
	S2: Suelos intermedios	180 m/s a 500 m/s
	S3: Suelos blandos	< 180 m/s

Según la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte establecidas para cada tipo de suelo, se eligió un tipo de suelo similar a las clasificadas en cada norma. Como parámetro de suelo se eligió el suelo tipo D, tipo II y S2 de las normas ASCE, NCH2745 Y E031 respectivamente.

c) Periodo

Las normas ASCE y NCH2745 para el diseño preliminar de los aisladores sísmicos recomiendan un periodo objetivo o inicial de la base aislada de $T_M = 2.5$ segundos, según recomendación de las normas. El proyecto E.031 recomienda multiplicar el periodo de la base fija por un factor, es decir, de 3 a 5 veces T (periodo fundamental de la estructura fija).

d) Espectro de diseño

i. ASCE- SEI-7

Para las aceleraciones de diseño con periodos cortos, el espectro de diseño se calcula de con la siguiente ecuación:

$$S_a = S_{DS} * \left(0.4 + 0.6 * \frac{T}{T_0} \right) \quad 0 \leq T < T_0$$

$$S_a = S_{DS} \quad T_0 \leq T \leq T_S$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_S < T \leq T_L$$

$$S_a = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2} \quad T > T_L$$

Para un periodo de 1 s el espectro de diseño se calcula:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * F_a S_s \quad S_{D1} = \frac{2}{3} * F_v S1$$

Asimismo, presenta tablas para determinar los valores de las aceleraciones según el tipo de suelo y el periodo.

ii. NCH2745

El espectro de diseño establecido en la norma chilena es el espectro de Newmark & Hall, este se usa para estructuras que no necesiten espectros específicos. El espectro base ha sido debidamente escalado con el factor Z de la Tabla 5 y 6 de la NCH2745.

iii. E.031

Este espectro se obtiene mediante las indicaciones de la norma técnica E.030. Para el sismo máximo considerado (SMC) le corresponde el espectro elástico de aceleraciones calculado con la siguiente fórmula:

$$S_{aM} = 1.5 ZCS g$$

Los parámetros Z y S son los considerados en la norma E030. El parámetro C está definido en la norma E031.

e) Comparación de los espectros

En la Figura 1. se observa que el espectro de la norma E.031 tiene mayores aceleraciones para los periodos de edificaciones con aislamiento sísmico (2 a 3 segundos), mientras que el espectro de ASCE son menores.

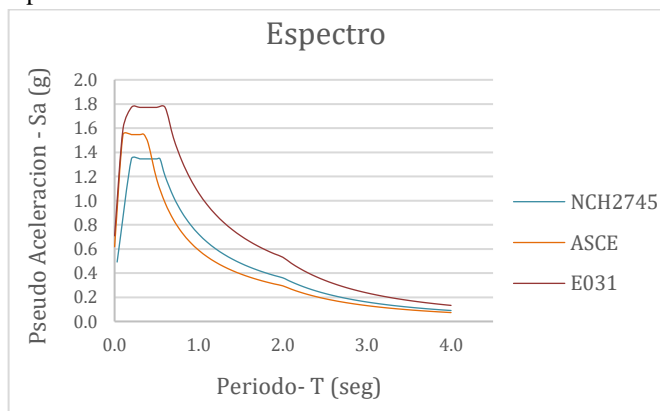


Figura 1. Comparación de los Espectros de las normas.

f) Derivas

El ASCE establece para el análisis dinámico que la deriva de entrepiso no debe ser superior a 0.005. Según la NCH2745 la deriva de entrepiso no debe ser mayor a 0.0025 para el análisis modal espectral y 0.003 análisis tiempo historia. En la E.031 la máxima deriva de entrepiso no debe exceder 0,0035 para el análisis modal espectral y 0.005 análisis tiempo historia

B. PROPUESTA DE PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES.

Los LRB se componen de una serie de caucho, capas de acero y núcleo de plomo (Figura 3). Los aisladores tienen alta rigidez vertical y son flexibles horizontalmente, con lo cual pueden soportar grandes deformaciones horizontales mientras soportan presiones [9].

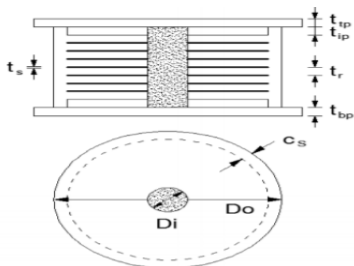


Figura 2. Elementos del aislador LRB.

a) Características mecánicas de los aisladores

Módulo de corte (G): Rigidez que posee un elemento al deformarse bajo fuerzas de corte, las empresas proveedoras fabrican los LRB con G entre 0.4 a 1 MPa.

Rigidez horizontal (K_H): Es una de las principales propiedades en el diseño de los aisladores.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad \text{Donde: } G = \text{Módulo de corte del elastómero.}$$

A = Área de la sección de goma.
t_r = Altura total de goma del aislador.

Rigidez vertical (K_v): La rigidez vertical de un aislador se escoge típicamente para producir una frecuencia vertical de vibración del sistema superior a 10 Hz [10]. Los aisladores poseen gran rigidez vertical.

Factor de forma (S): Relación entre el área del aislador que se encuentra cargada con el área no cargada. Para los aisladores circulares el factor S está definido por:

$$S = \frac{\pi r^2}{2\pi r t} \quad \text{Donde: } r = \text{Radio del aislador.}$$

t = Espesor de capa de goma.

Módulo de compresión (E_c): En los LRB se debe considerar la disminución del factor de forma debido al orificio del núcleo de plomo. El módulo de compresión se calcula:

$$E_c = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K}$$

III. ANÁLISIS

A. DISEÑO DE LOS LRB

Los elementos antisísmicos se diseñaron mediante un proceso iterativo según las fórmulas establecidas en las normas internacionales de aislamiento sísmico. Para iniciar los cálculos se propone un valor de período del sistema aislado y un valor de amortiguamiento efectivo. La interacción del diseño finaliza

con la elección de un tipo de aislador con dimensiones comerciales muy cercanas a las requeridas.

Tabla 2. Dimensiones del aislador y placas de soporte.

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo D _i (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidades Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115

Tabla 3. Propiedades, desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador

Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (mm)	Capacidad Carga Axial, P _{max} (KN)
	Rigidez Producida, K _a (KN/mm)	Resistencia Característica Q _a (KN)	Resistencia a la compresión, K _c (KN/mm)		
900	0.7-6.1	0-355	>1400	560	5800
950	0.7-6.1	0-490	>1800	610	6700
1000	0.8-6.3	0-490	>1900	660	7600
1050	0.9-6.3	0-580	>2100	710	8500
1160	1.1-6.5	0-665	>2800	760	13800
1260	1.2-6.7	0-755	>3700	810	20500

B. PROPUESTA DE PARÁMETROS

A partir de un análisis comparativo de los parámetros que establecen cada norma de aislamiento sísmico, se determinaron las fórmulas, parámetros o criterios que difieren en cada norma con la finalidad de proponer parámetros generales que puedan ser utilizados en el diseño de aisladores en países con alta actividad sísmica pero que no cuentan con una normativa para diseñar dichos dispositivos. Con dicha propuesta se pretende lograr un mejor desempeño estructural en las edificaciones diseñadas bajo los nuevos parámetros.

Tabla 4. Parámetros de las normas y propuesta de nuevos parámetros para el diseño de LRB.

ASCE	NCH 2745	E031	PROPUEST A
DM= (g*SM1*TM)/ (4PI*BM)	DM=CM/BM	DM= (g*SM1*TM)/ (4PI*BM)	DM=CM/BM
PU=1.2CM+1.6CV+0.5CVT	PU=1.2CM+1.6CV+0.5CVT	PU=1.4CM+1.7CV	PU=1.2CM+1.6CV+0.5CVT
Di (Diámetro del aislador): σ axial max permi =15MPA	Di (Diámetro del aislador): σ axial max permi= 8MPA	Di (Diámetro del aislador): σ axial max permi= 15MPA	DTM: σ axial max permi =12 MPA
HT (Altura del aislador): HT=DTM/2.5	HT (Altura del aislador): HT= DTM/1.5	HT (Altura del aislador): HT= DTM/1.5	HT (Altura del aislador): HT= DTM/1.5

Dp: (Cálculo del diámetro de plomo): * Qd/W=6% * σ_y fluencia del plomo=10MPa	Dp: (Cálculo del diámetro de plomo): * Qd/W=5% * σ_y fluencia del plomo=10MPa	Dp: (Cálculo del diámetro de plomo): * Qd/W=5% * σ_y fluencia del plomo=10MPa	* Qd/W=7% * σ_y fluencia del plomo=8 Mpa
Kd (Cálculo de la rigidez secundaria): .G=38 Y 71 Tn/m2(50)	Kd (Cálculo de la rigidez secundaria): .G=38 Y 71 Tn/m2 (50)	Kd (Cálculo de la rigidez secundaria): .G=38 Y 71 Tn/m2(50)	Kd (Cálculo de la rigidez secundaria): .G=50Tn/m2
Ke (Rigidez elástica) $\alpha=10$ Ke= $\alpha*Kd$	Ke (Rigidez elástica) $\alpha=10$ Ke= $\alpha*Kd$	Ke (Rigidez elástica) $\alpha=10$ Ke= $\alpha*Kd$	Ke (Rigidez elástica) Ke= $\alpha*Kd$ $\alpha=8$
Kv (Rigidez vertical): Ec= (6GS ² K) / (6GS ² +K) *G=50 Tn/m2 *K= 2000 MPa	Kv (Rigidez vertical): Ec= (6GS ² K) / (6GS ² +K) *G=50 Tn/m2 *K= 2000 MPa	Kv (Rigidez vertical): Ec= (6GS ² K) / (6GS ² +K) *G=50 Tn/m2 *K= 2000 MPa	Kv (Rigidez vertical): Ec= (6GS ² K) / (6GS ² +K) *G=50Tn/m2 *K= 1500 MPa

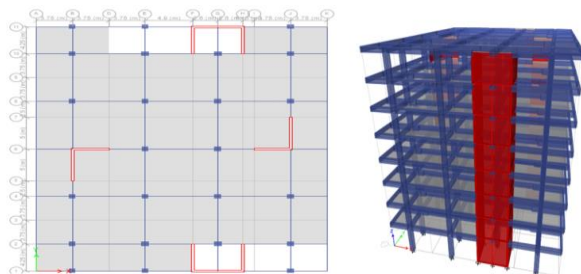
Luego de realizar el diseño siguiendo las recomendaciones y fórmulas de las tres normas y la propuesta para el diseño del LRB, se obtuvieron sus características y propiedades necesarias. Las cuales, deberán ser insertadas en el software para una correcta modelación.

IV. RESULTADOS Y VALIDACIÓN

A. EDIFICACIÓN CONSIDERADA

En este apartado se analiza una edificación esencial situado en la ciudad de Lima en Perú (zona con alta amenaza sísmica). Primero se realiza el diseño de la estructura tradicional o con base fija. Luego se realiza el diseño de los aisladores elastoméricos LRB y diseño de la edificación con estos elementos en su base siguiendo las prescripciones de las normas de análisis y diseño de estructuras con aislamiento sísmico (ASCE, NCH2745 y E.031).

La estructura elegida en este estudio es un edificio del sector salud, con sistema estructural dual y de 8 niveles.



a) Edificio en Planta b) Edificio en 3D

Figura 3. Edificación considerada.

B. RESPUESTA SÍSMICA

Con los resultados de la respuesta sísmica de la edificación analizada se evalúa la propuesta para el diseño de aisladores LRB; una evaluación positiva implicaría la validación de la propuesta realizada.

a) Cortantes basal

En la Figura 4 y 5 se muestran las cortantes basales en la dirección X e Y, respectivamente.

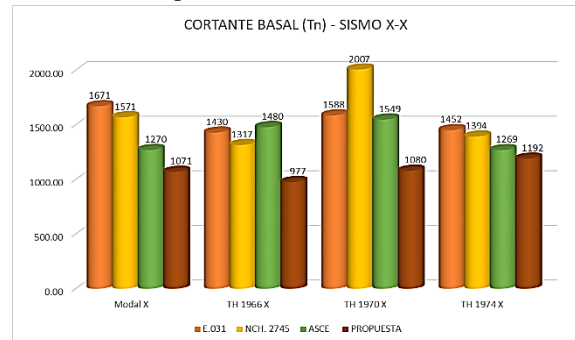


Figura 4. Cortante basal, sismo en la dirección X-X.

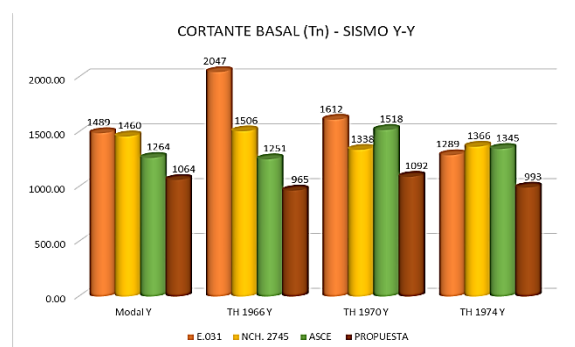


Figura 5. Cortante basal, sismo en la dirección Y-Y

b) Cortante de entrepiso

A continuación, se presentan gráficos comparativos de la cortante de entrepiso, en la dirección X e Y, respectivamente.

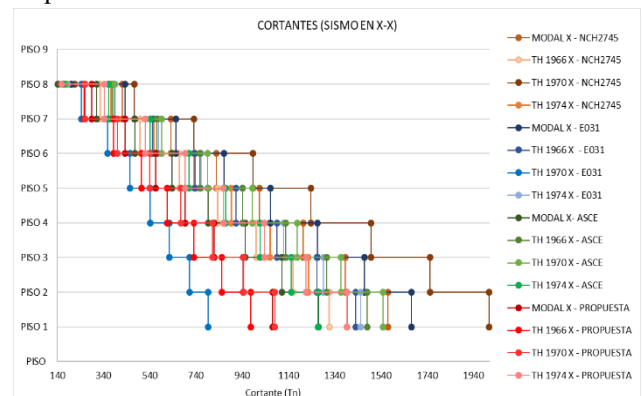


Figura 6. Cortante de entrepiso, sismo en la dirección X-X.

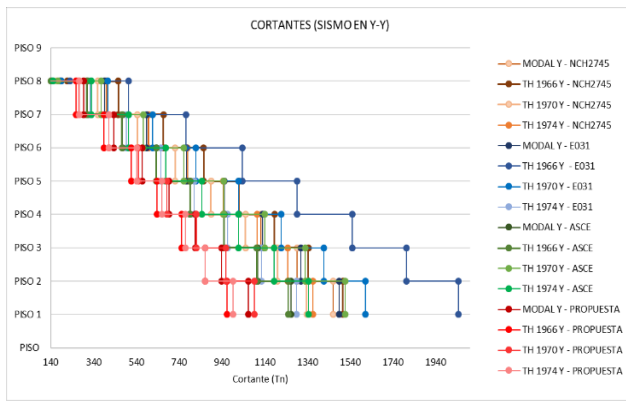


Figura 7. Cortante de entropiso, sismo en la dirección Y-Y.

c) Desplazamientos

El desplazamiento total de la estructura con aisladores en la base ha aumentado drásticamente, sin embargo, el desplazamiento entrepiso es menor a la de la estructura con base fija.

En los gráficos siguientes se presentan los desplazamientos absolutos de la edificación aislada.

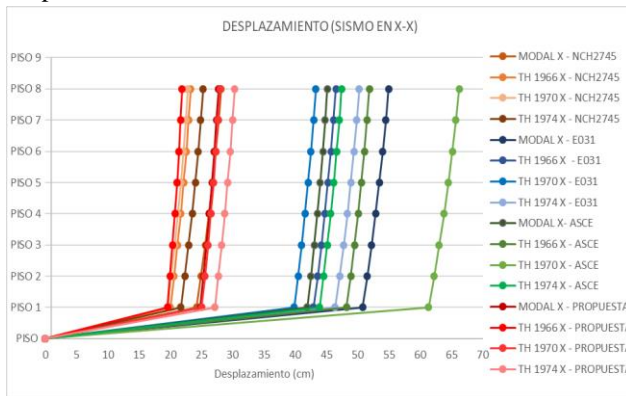


Figura 8. Desplazamiento absoluto, sismo en la dirección X-X.

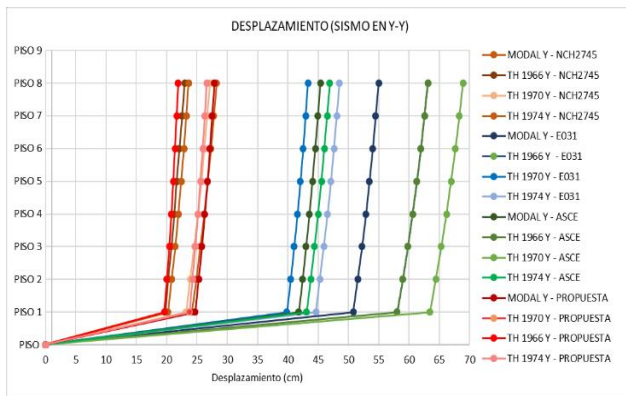


Figura 9. Desplazamiento absoluto, sismo en la dirección Y-Y.

d) Derivas

En todos los casos de sismo la deriva máxima se da en el primer piso, el máximo desplazamiento se da en el primer nivel, luego el desplazamiento entrepiso es mínimo, por lo cual su deriva es menor.

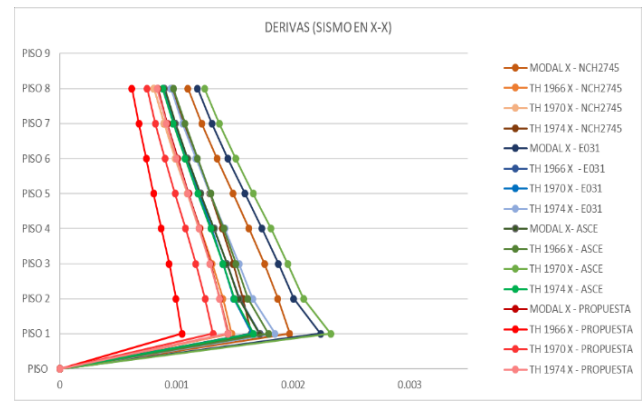


Figura 10. Derivas en la dirección del sismo X-X.

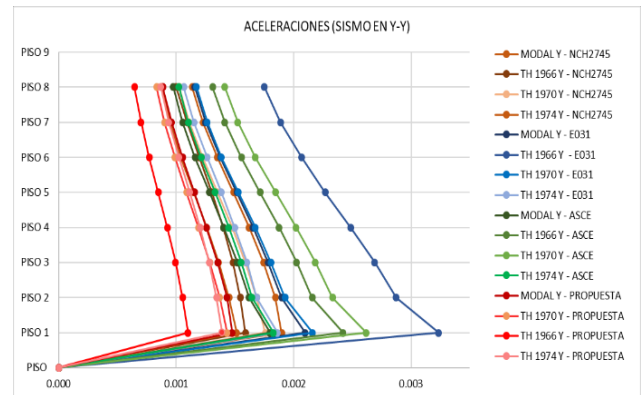


Figura 11. Derivas en la dirección del sismo Y-Y.

V. CONCLUSIONES

En esta investigación se han analizado tres normas internacionales de aislamiento sísmico, NCH2745, E.031 y ASCE. Primero, se identificaron los principales parámetros y/o criterios que difieren en lo establecido en los análisis dinámicos de dichas normativas, identificándose 5 principales factores que difieren. Estos parámetros son: la amenaza sísmica, clasificación del tipo de suelo, el periodo inicial considerado para el diseño de los aisladores sísmicos, espectro de diseño y el límite de deriva.

Luego de analizar cada norma y diseñar los aisladores LRB según estas, se realizó la propuesta de nuevos parámetros de diseño de aisladores antisísmicos con la finalidad de que puedan ser usados en países que adaptan normas internacionales debido a carecer de una propia. Al comparar normas de diferentes países y luego establecer nuevos criterios a partir de ellas, se logra que las nuevas consideraciones sean más conservadoras pues se eligen valores intermedios que aseguren un mejor desempeño estructural de dispositivos antisísmicos en la edificación.

Los parámetros propuestos fueron validados mediante la respuesta sísmica de una edificación del sector salud. Se comprobó que los valores considerados para el diseño de los LRB brindaron resultados más conservadores. La cortante basal es menor con los valores de la propuesta en comparación de las normas internacionales. Asimismo, las derivas también disminuyeron considerablemente

obteniendo un nivel de desempeño totalmente operativo según el FEMA.

En el presente estudio se tomó tres registros históricos de máxima sismicidad. Para futuras investigaciones se recomienda tomar más registros históricos, puesto que permitirán tener valores más precisos, mejorando de esta forma las respuestas sísmicas de la edificación a analizar. Asimismo, se recomienda realizar el mismo análisis desarrollado en esta investigación, pero con otros tipos de aisladores; como los aisladores elastoméricos, friccionales, péndulos de fricción con el fin de observar la respuesta que ofrecen estos tipos de aisladores frente a los aisladores LRB con núcleo de plomo analizados en este estudio.

VI. REFERENCIAS

- [1] HAZUS-MH 2.1 (2003). Technical Manual "Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model". Department of Homeland Security. FEMA. Mitigation Division. Washington, D. C.
- [2] Morales C.A. (2003). Transmissibility concept to control base motion in isolated structures. *Engineering Structures*, Vol. 25 (10), 1325-1331.
- [3] Higashino M., Okamoto S. (2006) *Response control and seismic isolation of buildings USA*: Taylor & Francis.
- [4] Wenguang L., Feng D., Masuda K., Wang S., Yang Q. (2006) "A comparative study of seismic isolation codes worldwide. Part I: Design spectrum" 1st ECEES, Ginebra, Suiza.
- [5] Piscal C., López F (2016). Consecuencias de la posible aplicación a Colombia de las normas más actuales sobre aislamiento sísmico de edificios. *Ingeniería de Estructuras*, Vol. 21 (4), 415 – 436.
- [6] Aguiar R., Vergara F., Guaygua B., Monge J. (2014). Análisis sísmico de una estructura con Aisladores FPS de primera y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo. *Ingeniería de Estructuras*, Vol. 19 (1), 35 – 89
- [7] Norma Americana ASCE-SEI7 (2016).
- [8] Norma Chilena NCH2745. Análisis y Diseño de edificios con Aislación Sísmica (2003)
- [9] Proyecto De Norma Técnica E.031. Aislamiento Sísmico (2018). Reglamento Nacional De Edificaciones.
- [10] Herrera M. (2017). Desempeño sísmico en estructuras aporricadas de concreto armado y de albañilería confinada utilizando aisladores elastoméricos. 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education", 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.
- [11] Tapia C., Veletanga L. Diseño de aisladores sísmicos LRB y análisis por desempeño de edificios [Título de Ingeniero Civil.]. Universidad de cuenca; 2017.
- [12] M. Tamim Tanwer et al. (2019). Un estudio sobre diferentes tipos de base Sistema de aislamiento sobre base fija)
- [13] Kelly, J.M.: *Earthquake-Resistant Design with Rubber* (1993)
- [14] Kubo, T., et al.: (2014). A seismic design of nuclear reactor building structures applying seismic isolation system in a high seismicity region—a feasibility case study in Japan. *Nucl. Eng. Technol.* 46(5), 581–594
- [15] S. Keerthana, K. Sathish Kumar, K. Balamonica, DS Jagannathan. (2014) *Seismic Response Control Using Base Isolation Strategy*.
- [16] Cheng F., Jian H., Lou k., (2008) *Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control*. USA.crcpress
- [17] Pietra D., Pampanin S., Mayes R., Wetzel N., Feng D. (2014) "Design of base isolated buildings: An overview of international codes" NZSEE Technical Conference.
- [18] Manish Kumar, Andrew S. Whittaker, Michael C. Constantinou (2015): "Experimental investigation of cavitation in elastomeric seismic isolation bearings". University of Buffalo, USA.
- [19] D. Cancellara, F. De Angelis (2016): "A base isolation system for structures subject to extreme seismic events characterized by anomalous values of intensity and frequency content" University of Naples Federico II, Italy.
- [20] *Dynamic Isolation Systems* (2007): "Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes"