



ID: XXXVIIIJSIE-07-001

## ANÁLISIS NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON Y SIN AISLADORES PASIVOS EN BOGOTÁ USANDO EL PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS SAP2000

### NUMERICAL ANALYSIS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A BUILDING WITH AND WITHOUT PASSIVE INSULATORS IN BOGOTÁ USING THE SAP2000 FINITE ELEMENT PROGRAM

Diego A. Gómez Galindo (1); Wilson Rodríguez Calderón (P) (2); Jorge A. Rendón Ospina (3);  
Myriam R. Pallares Muñoz (4);

(1) Ing. Civil, Bogotá D.C., Colombia.

(2) Ing. Civil, MSc., PhD., Profesor de Posgrados, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Facultad de Ingeniería Civil, Maestría en ingeniería estructural, Chachapoyas, Perú.

(3) Ing. Civil, MSc., Bogotá D.C., Colombia.

(4) Ing. Civil, MSc., PhD., Profesora, Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería, Neiva, Colombia.

Dirección para correspondencia: wilroca50@hotmail.com; (P) Presentador

**Área Temática:** Análisis Estructural.

#### Resumen

El presente artículo busca mostrar el empleo de aisladores sísmicos elastoméricos de base en estructuras, y como debe realizarse la modelización numérica del sistema aislado en el software de análisis por elementos finitos SAP2000, evaluando cada uno de los parámetros físicos y mecánicos propios de los aparatos. Para esto, se evaluó una estructura de 8 pisos diseñada bajo un escenario con las características sísmicas dadas por el decreto N°523 del 2010 en su condición de base fija, comparándola contra un modelo de la misma aislado sísmicamente en su base, analizando los cambios en desplazamientos, derivas e índices de estabilidad. Los resultados muestran que si bien el sistema de aislamiento posee muchos beneficios sobre las superestructuras, estos solo se logran desarrollar completamente si se encuentran bajo ciertas circunstancias como suelos duros, estructuras rígidas entre otras; adicional, a que la intervención incide en gastos agregados para la adecuación urbanística y funcional de la estructura, por lo que el sistema se recomienda para edificaciones de vital importancia como las que se encuentran agrupadas en el grupo de uso IV y algunas del III en el título A de la norma NSR-10 (Colombia).

*Palabras-clave:* Aisladores sísmicos, Modelización, Grupo de uso, Derivas.

#### Abstract

This article examines the use of elastomeric seismic isolators in structures, and as should be the correct modeling of the isolated system in the analysis software SAP2000 evaluating each of the physical and mechanical parameters of the devices themselves. For this, we evaluated a structure designed in 1978 under seismic characteristic given by Decree No. 523 of 2010 in his capacity fixed base, comparing it against a model of the same isolated seismically at its base, analyzing changes in displacement, drift and stability. Results show that while the system has many benefits over the superstructures, these can only be achieved if they are under specific circumstances, such as hard floors, rigid structures among others, additional inress costs because it's necessary planning again the town planning and functionality of the structure, so the system is recommended for critical buildings such as those grouped in the use group IV and some of the III on title A of the NSR-10.

*Keywords:* Seismic isolators, Modeling, Group of use, Drifts



## 1. METODOLOGÍA

Se seleccionó una estructura tipo para luego asignarle un tratamiento especial para contrarrestar los efectos de un sismo, antes y después de la intervención. La estructura escogida fue el edificio park way 41 localizado en la ciudad de Bogotá y del cual se tenían todos los diseños estructurales y planos producto de una tesis de grado de la Universidad de la Salle (Colombia), durante el año 1978. Una vez definido el edificio con el cual se trabajaría, se propuso una manera de aislar la estructura, ya que existen diferentes tipos de aparatos con propiedades diferentes.

Una vez definido el tipo de aparato, que para el caso fueron los de tipo: aislamiento sísmico, Tipo: elemento flexible, Dispositivo: Elastómero de Multicapas; se procedió a buscar proveedores de estos aparatos puesto que en últimas, cuando se trata de diseño de estructuras aisladas sísmicamente, son ellos los que definen las propiedades físicas y mecánicas que se requieren para el diseño y su respectiva modelación como lo muestra la Figura 1. Paralelamente a esta actividad se realizó la investigación respectiva para determinar los esquemas de modelación de los aparatos y como eran sus diagramas de disipación de energía, o histéresis para así obtener todas las propiedades, mecánicas y físicas para la modelación del sistema aislado en el software de análisis SAP 2000 (Figura 2). Al mismo tiempo que esta actividad se modelaba el sistema de resistencia sísmico del edificio Park Way 41.

Isolator Diameter, $D_1$ (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, $D_{max}$ (mm)	Axial Load Capacity $P_{max}$ (kN)
	Yielded Stiffness, $K_d$ (kN/mm)	Characteristic Strength $Q_d$ (kN)	Compression Stiffness, $K_c$ (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000

Figura 1. Tabla de diseño para un aislador con núcleo de plomo DIS (Dynamic Isolation System) Fuente: Dynamic Isolation Systems. (2007).

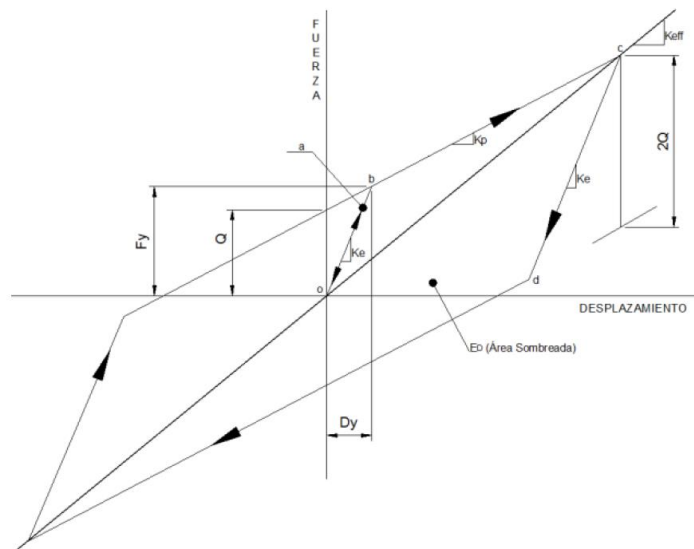


Figura 2. Modelo bilineal de un aislador de goma con núcleo de plomo Fuente: Autores

## 2. ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA MODELACIÓN DE UN SISTEMA AISLADO

### 2.1. Modelo matemático del aislador elastomérico

Estudios detallados del comportamiento de estructuras convencionales y estructuras aisladas, han mostrado, que si bien existe una relación lineal entre las fuerzas sísmicas y el comportamiento de la estructura, factores como la configuración de la estructura, las irregularidades de la misma, tipos de suelo especialmente los suelos blandos que inducen periodos largos, la localización de la estructura en zonas de transición; hacen que el análisis lineal no



represente con mayor cercanía a la realidad el comportamiento de una estructura aislada, especialmente por las diferencias entre las deformaciones propias de la estructura y las altas deformaciones del conjunto de aisladores, esto debido a las diferencias de rigideces que provocan que la respuesta sísmica sea asumida en un primer momento por el conjunto de aparatos. Por esta razón se estudia el comportamiento de los aisladores sísmicos considerando sus propiedades no lineales y su comportamiento histórico, en el que los desplazamientos dependen única y exclusivamente de la fuerza cortante aplicada y en el que las propiedades mecánicas del aparato no se ven alteradas por la velocidad del movimiento como si sucede en un modelo realizado para aparatos del tipo viscoso elástico.

Para la determinación del modelo bilineal que se ve en la Figura 2 es necesario definir tres parámetros principales que son, la rigidez elástica ( $K_e$ ), la rigidez post fluencia ( $K_p$ ) y la fuerza característica ( $Q$ ); las cuales definen el comportamiento mecánico de un aislador sísmico del tipo elastómero. El modelo bilineal de un aislador de goma con núcleo de plomo muestra como este reacciona frente a una fuerza cortante hasta llegar al punto de fluencia “b” en el que se empiezan a presenciar grandes desplazamientos bajo el efecto de aumentos muy pequeños en la carga aplicada hasta alcanzar el cortante máximo y por ende el desplazamiento máximo del aislador; una vez comienza la descarga en el punto “c” donde la fuerza cortante es igual a dos veces la fuerza que hace fluir el aparato el modelo empieza a recuperarse llegando al punto “d” en el que la trayectoria posee una pendiente igual a la rigidez post fluencia del aparato, cerrando así el ciclo de histéresis y disipando parte de la energía inducida al sistema, energía “ $E_D$ ” que se entiende como el área dentro del diagrama de histéresis.

A continuación se explica cada uno de los componentes que conforman el diagrama de histéresis:

- La rigidez efectiva  $K_{eff}$ , dependiente de la fuerza característica, la rigidez post fluencia y el desplazamiento del aparato puede ser expresada como:

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D} \quad (1)$$

- El desplazamiento para el cual empieza a ocurrir la fluencia en el aparato ( $D_y$ ), se define como:

$$D_y = \frac{Q}{K_e - K_p} \quad (2)$$

- La fuerza de fluencia  $F_y$  para la cual se presenta el desplazamiento  $D_y$  se define como:

$$F_y = Q + K_p * D_y \quad (3)$$

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el amortiguamiento efectivo del sistema necesario para toda la estructura, el cual se entiende como:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi * K_{eff} * D^2} \quad (4)$$

y en el que la energía disipada por ciclo entendida como el área dentro del diagrama de histéresis se puede calcular de la siguiente manera:

$$E_D = 4Q * (D - D_y) \quad (5)$$

De esta forma, reemplazando la ecuación 5 en 4 tenemos:

$$\beta_{eff} = \frac{2Q * (D - D_y)}{\pi * K_{eff} * D^2} \quad (6)$$



Es importante aclarar que tanto la rigidez efectiva como el amortiguamiento efectivo se calculan en una primera instancia para el sismo de diseño, y deberán hacerse los chequeos respectivos para los desplazamientos ocurridos durante el sismo máximo probable.

## 2.2. Principales características mecánicas de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo

La característica más importante y por la cual estos aisladores se diferencian de sus predecesores, los de caucho, es que estos poseen un núcleo de plomo macizo el cual provee al aparato de la ya nombrada fuerza característica  $Q$ , la cual es asumida como fuerza cortante en el núcleo. Esta fuerza, al alcanzar una magnitud específica para cada aparato, llega al punto “b” del diagrama de histéresis mostrado en la Figura 2, y se le llama fuerza cortante de fluencia, la cual se da para bajos niveles de esfuerzo de corte en el aparato. La fuerza característica  $Q$  se define matemáticamente como el producto del esfuerzo de fluencia y el área de plomo,  $Q = A_b * F_{y1}$ . El otro parámetro necesario para poder definir el modelo bilineal del sistema aislado y que es necesario incluirlo dentro de la modelación en el software de análisis es la rigidez post fluencia  $K_p$ , la cual se define como:

$$K_p = \frac{A_b * G * f_1}{t} \quad (7)$$

En el que:

- $A_b$ : Es el área de caucho
- $t$ : el espesor de caucho o altura del aislador
- $f_1$ : 1.5
- $G$ : módulo de corte tangente del caucho, el cual debe obtenerse a partir de ensayos de corte en laboratorio o de no poderse hacerse estas pruebas, deberá pedirse directamente al distribuidor.

El ultimo parámetro necesario para el modelo analítico es la rigidez elástica  $K_e$ , la cual se obtiene a través de fórmulas empíricas que relacionan la rigidez elástica como un factor de la rigidez post fluencia,  $K_e = x * K_p$ ; en el que  $x$  es un valor entre 6.5 y 10. Valor que depende de los materiales y calidad en los procesos de fabricación de la goma por cada una de las casas productoras de aisladores elastoméricos. Si reemplazamos  $K_e$  en la formula dada para el desplazamiento en el que la fluencia empieza a ocurrir tenemos lo siguiente:

$$D_y = \frac{Q}{(x-1)K_p} \quad (8)$$

Donde el valor de  $x$  queda a consideración del diseñador.

Finalmente para poder obtener el modelo bilineal y poder realizar un análisis no lineal del comportamiento del sistema estructura – aisladores, tenemos que reemplazando las ecuaciones obtenidas para  $D_y$  y  $K_e$ , en la ecuación de amortiguamiento efectivo tenemos:

$$\beta_{eff} = \frac{2Q[(x-1)*K_p*D-Q]}{\pi*(x-1)K_p*(K_p*D+Q)*D} \quad (9)$$

## 2.3. Tipo de suelo

La Figura 3a, muestra como son las mediciones de los acelerogramas a la hora que un sismo actúa sobre estos dos tipos de suelo, unos rígidos, con periodos fundamentalmente bajos y otros





con periodos fundamentalmente altos; y la incidencia que esto puede tener en la elección de los aparatos a utilizar y el tamaño de los mismos. La Figura 3b muestra el comportamiento del cortante en la base de edificaciones con y sin aislamiento, y en condiciones de suelo firme y suave.

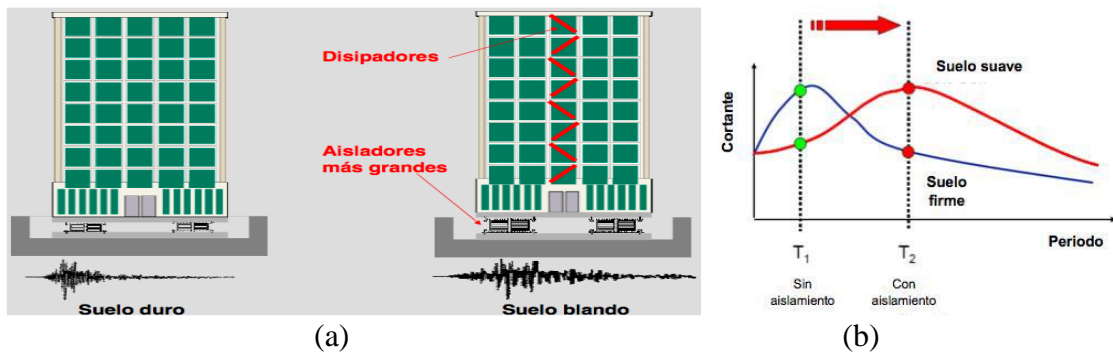


Figura 3 (a). Estructura aislada sísmicamente sobre suelo duro vs estructura aislada sísmicamente sobre suelo blando. Fuente: Rendón J. (Octubre 2009). El aislamiento sísmico de estructuras. Su aplicación en Colombia, Encuentro internacional del acero en Colombia, pp 1-101. (b) Respuesta de una estructura en suelo blando y suelo duro. Fuente: Meza Blandón R. I, Sánchez García E. E. (2010). Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la republica de Nicaragua.

La forma del espectro influye mucho a la hora de tomar la decisión de qué tipo de aparato ha de usarse ya que podemos tener el caso como el mostrado en la Figura 4 donde los valores de aceleración a los cuales se vería sometida una estructura aislada para periodos de 2 a 3 segundos (periodos aproximados de una estructura aislada), son mayores a los valores para su periodo natural.

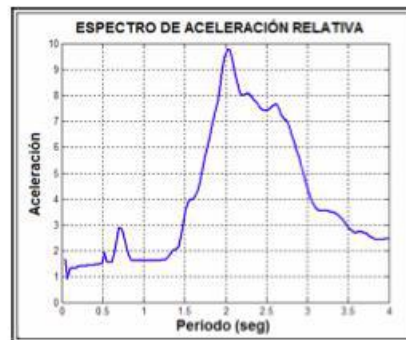


Figura 4. Espectro de aceleraciones para el sismo de México en el año 1985  
Fuente: Capítulo I, Introducción al aislamiento sísmico.

## 2.4. Ubicación de los aisladores

La ubicación de los aparatos básicamente es bajo las columnas que llegan a niveles de cimentación, aislando la superestructura del sistema de fundación construido o considerado durante el diseño. Se deben verificar la existencia de sótanos y los niveles de acceso a la estructura.

## 3. RESULTADOS



### 3.1. Aclaraciones

La estructura se compone de 8 plantas cada una con una altura de entrepiso de 2.80 m, para una altura total de 22.4 m, el sistema estructural de resistencia sísmica, considerado en los diseños originales de la estructura, son pórticos de concreto resistente a momento a lo largo de los ejes globales X y Y del modelo realizado en SAP 2000, con viguetas de cierre para dar rigidez al sistema, más no para soportar el 100% de las cargas gravitacionales sobre la estructura. La estructura presenta una configuración especial en la que existe reducción de la inercia de las columnas a medida que estas ganan altura, adicionalmente la configuración en planta denota una irregularidad del tipo 2P(Retrocesos en las esquinas), razón por la cual, las consideraciones hechas en los documentos originales, y en una primera etapa del desarrollo de la investigación si funcionan los pisos o no como diafragmas rígidos se desvirtúa y obliga entonces a realizar un análisis diferente, así mismo el uso del método de análisis de fuerza horizontal equivalente, (MFHE), queda relegado obligando a realizar análisis modal necesariamente, en el modelo de control de resultados. Aún así es necesario realizar un primer modelo de análisis con la configuración geométrica original, aplicando el MFHE.

### 3.2. Desarrollo

Partimos de realizar el modelo base fija de la estructura y analizarlo mediante el MFHE para obtener así, un primer resultado de desplazamientos, y cálculo de deriva de piso bajo el escenario en que la estructura se excita con un coeficiente de aceleración  $S_a$  calculado para las condiciones específicas de sitio. Estos primeros valores fueron analizados para ejes de columnas estratégicos como lo muestra la Figura 5, obteniendo valores que no cumplían con lo mínimo establecido en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente, del orden de magnitud de 0.080 m cuando el valor máximo ronda los 0.028 m. Por lo que ya desde un principio se empezaba a suponer una estructura demasiado flexible por la falta de inercia en sus columnas para restringir desplazamientos, sumado con el efecto que produce en la estructura su configuración arquitectónica.

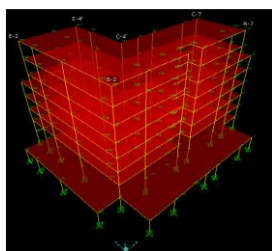


Figura 5. Ejes de columnas a analizar. Fuente: Autores

Igualmente, en esta primera instancia se verificaron los índices de estabilidad  $Q$  de la estructura como se indica en el título A6 de la NSR-10 tratando de prevenir los posibles efectos de segundo orden inducidos por esas primeras deformaciones de la estructura los cuales provocan un aumento considerable en las fuerzas internas de los elementos y las deflexiones de los mismos. Una vez se comprobó que los valores de deriva, como los de índices de estabilidad en su condición base fija no cumplían con lo mínimo dado por el reglamento actual, sometido a cargas sísmicas calculadas según los procedimientos indicados en la NSR-10, se procede a realizar la definición del aislador sísmico a utilizar de la manera más óptima posible para las condiciones de sitio, y su correspondiente modelación. Para la definición, se parte de proponer periodos para la estructura



aislada, y amortiguamiento efectivo al cual se quiere llegar, esto permite al Ingeniero a cargo del diseño hacerse a una idea primaria, de cuáles serán sus desplazamientos en nivel de baja rigidez lateral o nivel aislado, y junto con las cargas gravitacionales proponer un diámetro, y tamaño de aparato que sea capaz de soportar las fuerzas de corte, las cargas axiales de compresión, y posibles tensiones en el sistema. A continuación, la Tabla 1 muestra una tabla resumen con las principales propiedades de los aparatos utilizados para realizar la modelación.

Tabla 1. Consolidado de propiedades físicas y mecánicas para la modelación de los aparatos.

Fuente: Autores

NODO	Area de plomo por aparato (m <sup>2</sup> )	Fuerza Característica Q para cada aparato (KN)	Kp para cada aparato(KN/m)	Kp para cada aparato(KN/mm)	Keff para cada aparato(KN/m)	Keff para cada aparato(KN/mm)	Ke = 10*Kp para cada aparato(KN/m)	Ke = 10*Kp para cada aparato(KN/mm)	Dy (m)	Dy (mm)	Fy (KN)	ED (KN*m)
PARA LOS NODOS 1 21 41 61 67 69 71 87 89 91 93 97 113 133 135 137 139 158 160 180 191 206 212	0.006	63.617	1313.027	1.313	1499.905	1.500	13130.268	13.130	0.005	5.383	70.686	85.257
PARA LOS NODOS 3 5 23 25 43 45 63 65 89 91 95 115 117 162 171 183 185	0.021	213.825	871.786	0.872	1499.905	1.500	8717.859	8.718	0.027	27.252	237.583	267.852

Tal vez el aspecto más importante a la hora de realizar la modelación, consiste en que el espectro de aceleraciones utilizado en los modelos de control, deben reducirse para que software asimile que se está trabajando con un espectro con amortiguamiento diferente al 5%, y así poder tomar todos los beneficios que conlleva la implementación de un sistema de aisladores, para esto es necesario aplicar las recomendaciones dadas por el FEMA 356 en el capítulo 1.6.1.5.3 o el mismo ASCE 7-10 capítulo 17 para la construcción del espectro aminorado, obteniendo así lo mostrado en la Figura 6.

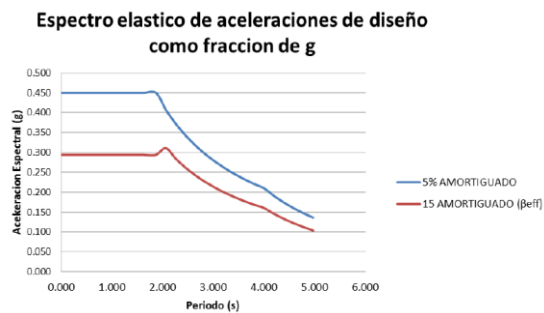


Figura 6. Espectro elástico de aceleraciones de diseño para un amortiguamiento igual al 5% y al 15%  
Fuente: Autores

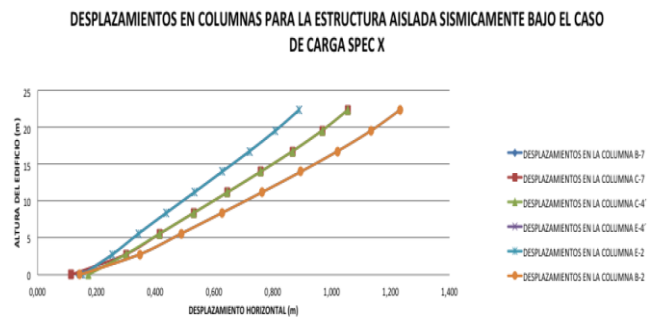


Figura 7. Desplazamientos en columnas para la estructura aislada sísmicamente bajo el caso de carga "SPEC X". Fuente: Autores



### 3.3. Verificación de los desplazamientos

Es importante tener en cuenta que cuando se tiene una estructura sobre un sistema de aislamiento esta no debe superar  $0.015h$  (altura del piso), siguiendo las recomendaciones dadas por el ASCE para estructuras de este tipo. Para este cálculo, se compara el 1.5% de la altura del piso contra el desplazamiento obtenido por el modelo de análisis. Igualmente este procedimiento debe realizarse siguiendo el método de cálculo de deriva dado por el ASCE en el capítulo 12, en el cual los desplazamientos son afectados por el coeficiente  $C_d$ , que no es más, que un factor de amplificación de las deflexiones propio del sistema de resistencia sísmica. Para efectos de nuestros cálculos no se tienen en cuenta, ya que la estructura como se ve en las gráficas y tabla a continuación no cumple con deriva, aun cuando se encuentra aislada y sus desplazamientos no han sido afectados por el coeficiente  $C_d$ .

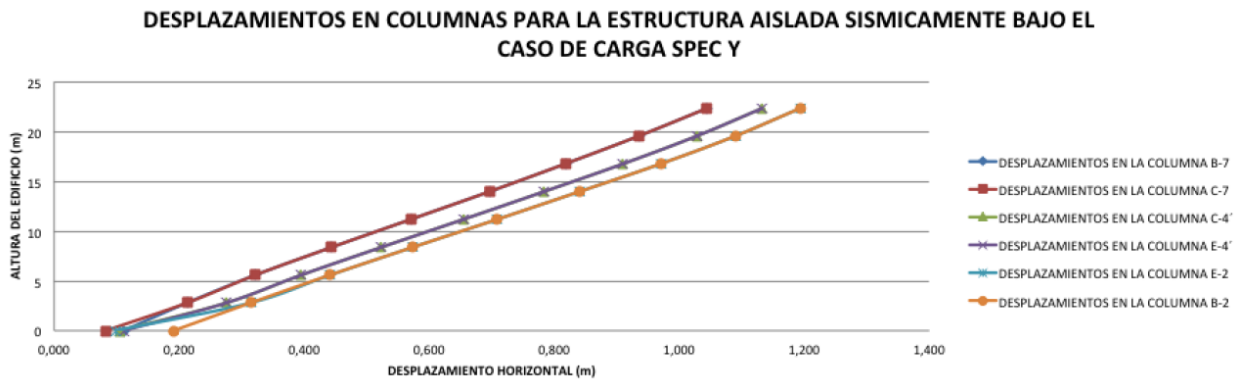


Figura 8. Desplazamiento en columnas para la estructura aislada sísmicamente bajo el caso de carga “SPEC Y”. Fuente: Autores

La Figura 7 y Figura 8 muestran, que si bien con el sistema aislado la estructura trata de comportarse como un bloque rígido unificando los desplazamientos, varios ejes de columnas especialmente aquellos opuestos a otros se desplazan diferencialmente, lo que indica que la flexibilidad de los pisos, y la irregularidad torsional sumado con la introducción de un nivel blando produce efectos nocivos en la estructura que requieren de otras intervenciones para poder ser controlados.

## 5. CONCLUSIONES

El resultado obtenido en el análisis de derivas de la estructura aislada indica que la estructura no cumple con lo estipulado como límite de deriva para estructuras aisladas sísmicamente según el ASCE, esto debido a que con la implementación del sistema de aislamiento se pretende alargar el periodo de vibración natural del edificio mediante la introducción de un piso de baja rigidez lateral que se supone menos rígido que la superestructura, por lo que se induce el desplazamiento en la zona de menor rigidez transmitiendo menores esfuerzos de corte a la súper estructura, y provocando que esta se desplace como un bloque rígido. El problema radica según lo encontrado en las gráficas de desplazamientos en que cuando se tiene una estructura demasiado flexible como la analizada y se introduce un sistema de control estructural de baja rigidez lateral los efectos se aumentan ya que tengo periodos más largos para la misma aceleración espectral.





Contemplar la rehabilitación de una estructura mediante el uso de sistemas de control como los aisladores sísmicos, no solo conlleva a analizar lo relacionado con fuerzas y desplazamientos en los elementos estructurales. Se debe contemplar dentro del estudio el acondicionamiento de los accesos, cuartos de ascensor, tubería para el sistema de gas y agua, cableados eléctricos y todo lo relacionado con la señalización exterior para que ante el caso de un evento de gran magnitud, los transeúntes se alejen de la zona dispuesta para que la estructura se desplace.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American society of civil engineers. (2010). Minimum design loads for buildings and other structures. Estados Unidos: Structural engineering institute.

Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Colombia.

Barbat H. A. (1994). Estructuras sometidas a acciones sísmicas calculo por ordenador. Barcelona, España.

Capitulo I. Introducción al aislamiento sísmico. (s.f.). Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2043/2/T-ESPE-020940-1.pdf>

Duque M, O. J. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. Revista EIA , 6, 105-120.

Dynamic Isolation System. (Julio de 2011). Dynamic Isolation System. Recuperado el 20 de Noviembre de 2013, de <http://www.dis-inc.com>

Lopez C, R. R. (2011). Corporación de desarrollo tecnológico. Recuperado el 23 de octubre de 2013, de Protección sísmica de estructuras. Sistemas de aislamiento sísmico y disipación de energía: <http://www.cdt.cl/cdt/uploads/Proteccion%20Sismica%20de%20Estructuras.pdf>

García D, A., & Muñoz A, E. (1978). Análisis y diseño edificio Park Way 41 Bogotá. (F. d. Universidad de la Salle, Ed.)

Meza Blandon, R. I., & Sánchez García, E. E. (2010). Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la república de Nicaragua. Universidad nacional de ingeniería. Recinto universitario Pedro Arauz Palacios, Facultad de tecnología de la construcción.

Montoya Vallecilla, J. O. (Junio de 2010). Análisis sísmico de un edificio con aislamiento en la base. Universidad politécnica de Madrid.

Rendon, J. (Octubre de 2011). El aislamiento sísmico de estructuras. Su aplicación en Colombia. Recuperado el Noviembre de 2012, de Encuentro internacional del acero en Colombia: <http://www.eac.com.co/files/Uso%20de%20Aisladores%20Sismicos%20-%20Jorge%20Rendon.pdf>