

ANÁLISIS DE DOS ALTERNATIVAS EN EL BLOQUE ESTRUCTURAL DOS CON AISLADORES FPS DE LA TERCERA GENERACIÓN DEL NUEVO CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA UFA-ESPE

ANALYSIS OF TWO ALTERNATIVES IN THE BLOCK WITH TWO STRUCTURAL ISOLATORS FPS OF THE THIRD GENERATION OF THE NEW RESEARCH CENTER OF THE UFA-ESPE

Roberto Aguiar⁽¹⁾ y Byron Guaygua⁽²⁾

⁽¹⁾**Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n. Valle de los Chillos, Ecuador
rraguiar@espe.edu.ec**

⁽²⁾**Cuerpo de Ingenieros del Ejército.**

RESUMEN

Se analizan dos alternativas estructurales para definir la posición de los ejes de columnas y sus respectivos aisladores FPS (Frictional Pendulum System) de la tercera generación, en el Bloque Estructural 2, del nuevo Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Para los dos casos se tiene que el total de aisladores a colocar es de 15 y que el área de la sección transversal de las columnas y vigas de acero sea la misma. En la primera opción las columnas son cuadradas tubulares de 400/400/25 mm, y en la segunda son de 500/500/20 mm, que tienen similar área pero en el segundo caso mayor inercia a flexión.

En la primera alternativa una fila de ejes de columnas se coloca en el borde de un pasillo y en la segunda se eliminan las columnas del borde, dejando que las losas de entrepiso, trabajen en voladizo.

Palabras Claves: Bloque Estructural 2; Aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción.

ABSTRACT

Two structural alternatives are analyzed to define the position of the axes of columns and their respective isolators FPS (Frictional Pendulum System) of the

Recibido: Agosto de 2015
Aceptado: Septiembre de 2015

third generation, Structural Block 2 of the new Center for Scientific Research of the University of the Armed Forces ESPE.

For the two cases must be total placing insulators 15 is the cross sectional area of the steel columns and beams are the same. In the first option the columns are tubular square of 400/400/25 mm, and the second are 500/500/20 mm, with similar area but in the second case greater inertia in bending.

In the first alternative axle of a row of columns placed at the edge of a corridor and the second edge columns are removed, leaving the floor slabs, cantilevered work.

Keywords: Structural Block 2; Seismic isolators triple friction pendulum.

1. INTRODUCCIÓN

En la figura 1 se presentan los Bloques Estructurales del nuevo Centro de Investigaciones Científicas, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, ahí se observa el bloque 2, que es irregular en planta, con una apéndice que sobresale destinado a un corredor en la planta baja, N 0+00 y en las plantas superiores forma parte del Centro de Investigaciones de Ciencias de la Vida, que va a funcionar en el mencionado bloque estructural.



Figura 1 Bloques estructurales del nuevo Centro de Investigaciones Científicas y de Post grados de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Entre las fachadas de los Bloques Estructurales 1 y 2, se tiene una separación de 1.20 m., y entre los Bloques 2 y 3 la separación es mayor; destacando que hay un pasadizo de conexión que no será tratado en este artículo pero que tiene un diseño especial que permite que los bloques estructurales 2 y 3 se muevan independientemente.

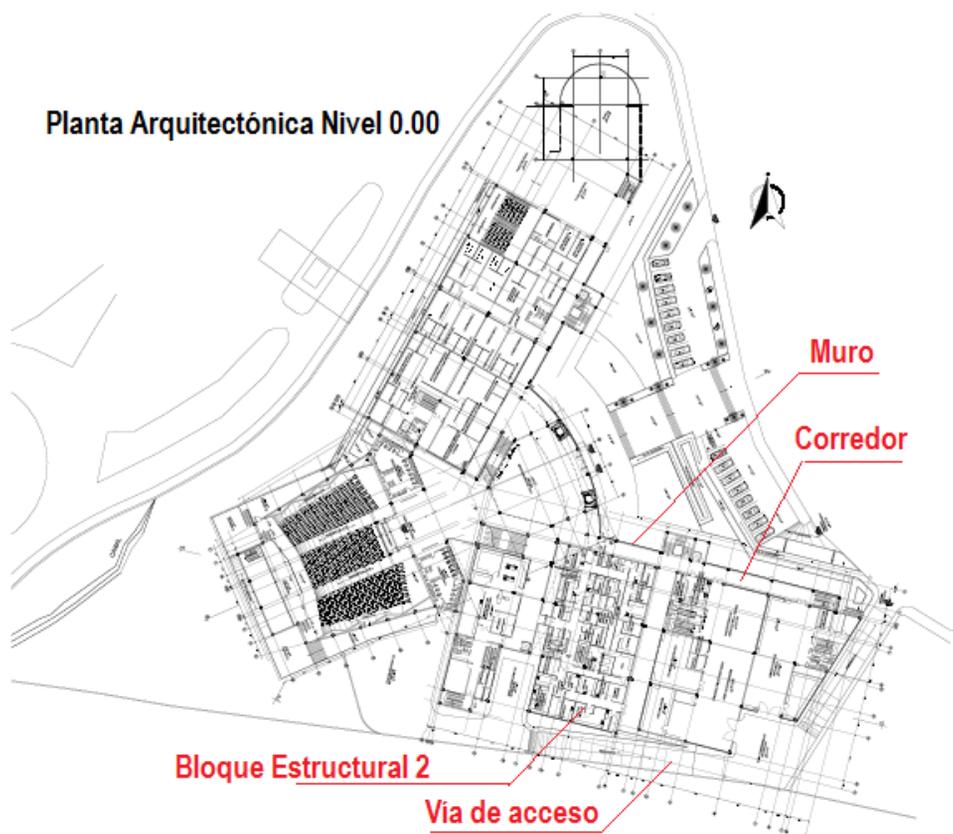


Figura 2 Planta Arquitectónica en el Nivel 0.00 del nuevo Centro de Investigaciones Científicas y de Post Grado de la UFA-ESPE.
Fuente: Alejandra Delgado (2015)

En la figura 2 se presenta la planta arquitectónica en el N 0.00 se aprecia desde la parte superior, el muro de contención que tiene una altura de 4.94. Es decir bajo el N 0.00 se tiene un subsuelo; se aprecia el corredor de circulación; se ha identificado al Bloque 2 y se ha señalado la vía de acceso vehicular.

A la izquierda de la figura 3, se tiene la primera alternativa estructural, se aprecia que las columnas han sido colocadas en los ejes: I, H, E, C y A, en cada eje se han colocado 3 columnas tubulares de acero de 400/400/25 mm. El corredor llega al eje J, pero en las plantas superiores a N 0.00 la fachada llega hasta el eje I, como se observa a la derecha de la figura 4.

A la derecha de la figura 3 se presenta la segunda opción, se eliminan las columnas del eje I, de tal manera que el corredor y los pisos superiores van a trabajar en voladizo, de igual manera se disminuye la longitud del corredor de 3.46 m, a 2.90 m. Los ejes de columnas A, C y E se mantienen como en la alternativa 1 a pesar de que las luces entre A-C es 12.75 m., y entre C-E es 12.50 m. El último piso en sentido Y, va desde el eje E hasta el eje I, pero los ejes de columnas son E, E', H.

Entre los ejes C-E hay dos rectángulos, el pequeño es del ascensor y el grande de la grada.

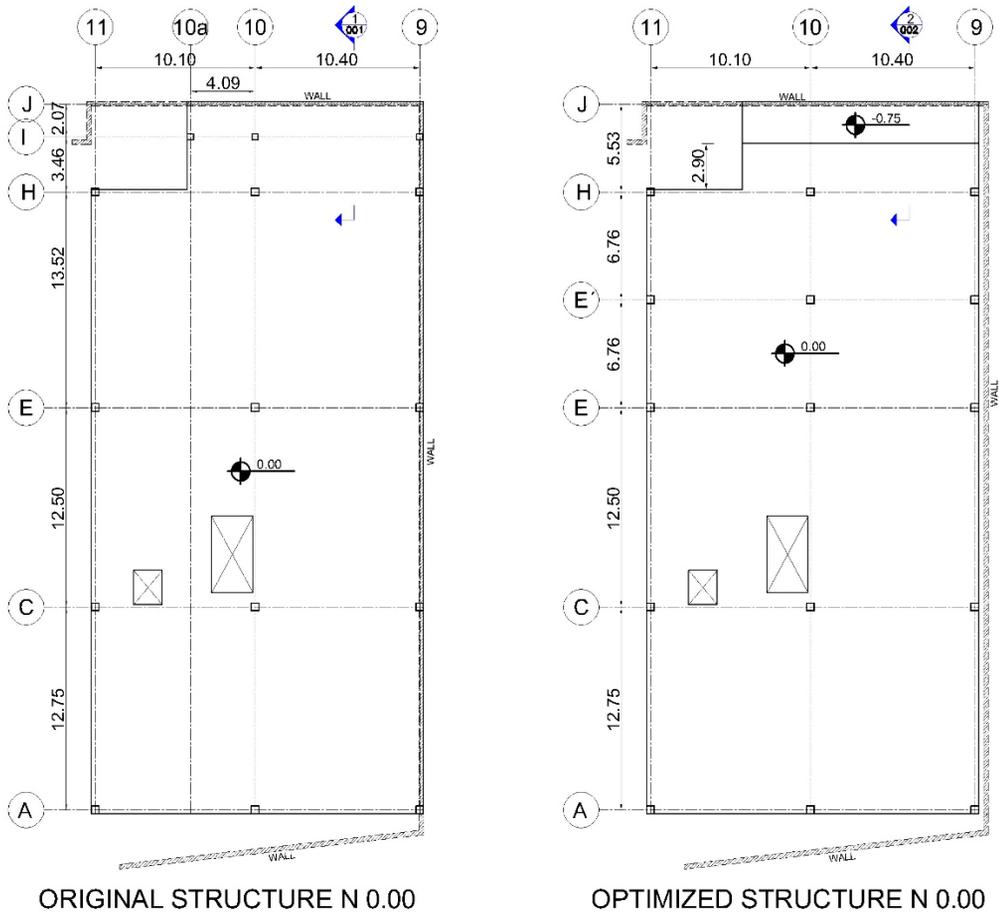


Figura 3 Alternativas estructurales en N 0.00 consideradas, para definir la posición de las columnas y FPS de tercera generación

En la figura 4 se presentan las plantas de los niveles N +4.94 y +9.88 para las dos alternativas. Finalmente en el nivel N + 14.82, la construcción va desde el eje E hasta el I, en la primera alternativa se tiene una gran luz entre E-H de 13.52 m, pero en cambio no se tiene voladizo; en cambio en la segunda opción las luces se reducen a la mitad en el tramo E-H pero se tiene un voladizo de 2.90 m.

En las figuras 3 se indican dos cortes en el área del corredor; ahora en la figura 5 se presentan esos cortes para la alternativa 1, a la izquierda y 2 a la derecha. En la opción 1 se aprecia la columna del eje I, que se suprime en la opción 2. Existe una diferencia de 0.18 m, en vertical entre el corredor que se halla entre los ejes I-H y el resto del corredor que se encuentra entre el muro y el eje I. No se ha colocado el aislador en la opción 1 para ver el diseño original del Proyecto.

En la opción 2 si se ha colocado el aislador sobre la columna del eje H, y para que pueda desplazarse independientemente la losa del corredor de 2.90 m., de ancho, se tiene previsto construir la losa que va del muro al eje I, 75 cm., más

abajo e ira empotrada en el muro, existiendo una diferencia de 10 cm, entre la parte inferior de la viga de acero y la parte superior de la losa que nace del muro.

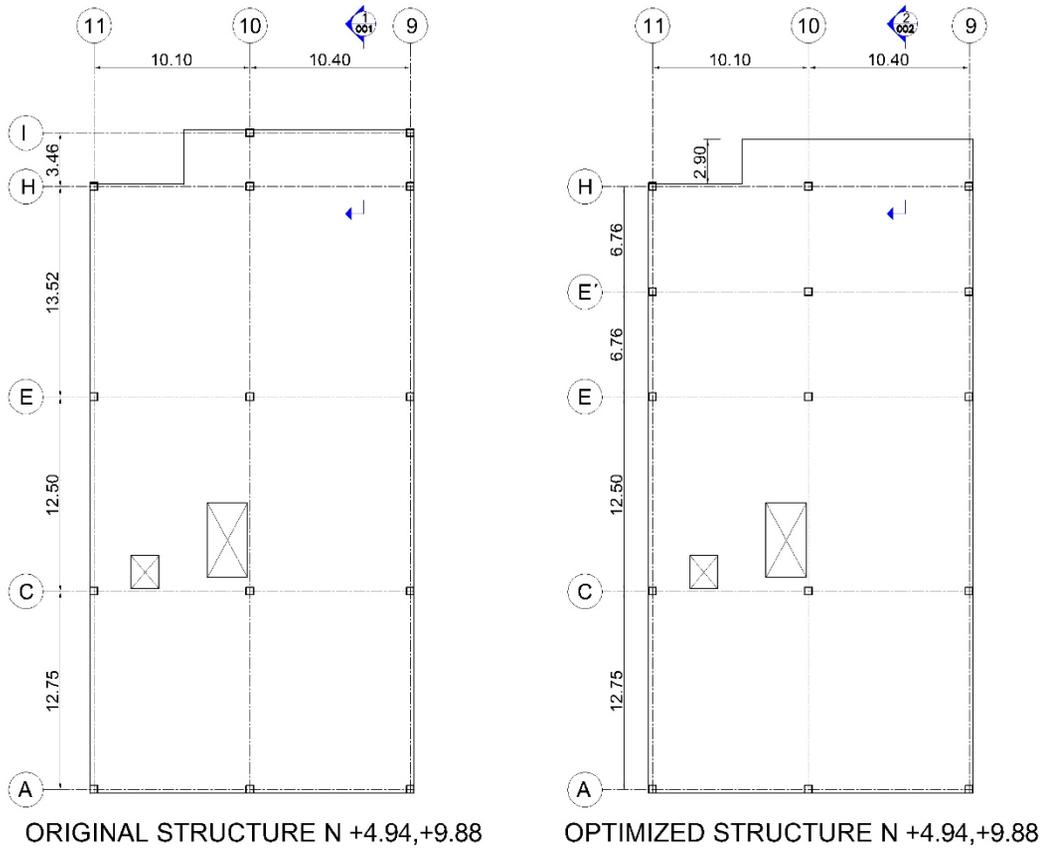


Figura 4 Alternativas estructurales consideradas para los niveles +4.94 y +9.88.

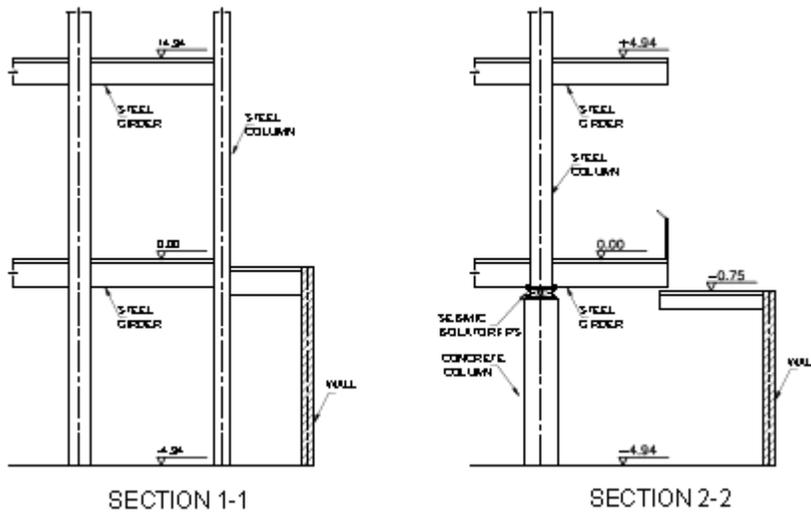


Figura 5 Corte para visualizar sección en alternativa 1 y 2, respectivamente.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Como se había indicado las columnas de acero de la alternativa 1, son de 400/400/25 mm., como se observa a la izquierda de la figura 6 y de la alternativa 2 son de 500/500/20 mm., con cuatro atiesadores conformados por varillas de 25 mm., de diámetros, que están indicados a la derecha de la figura.

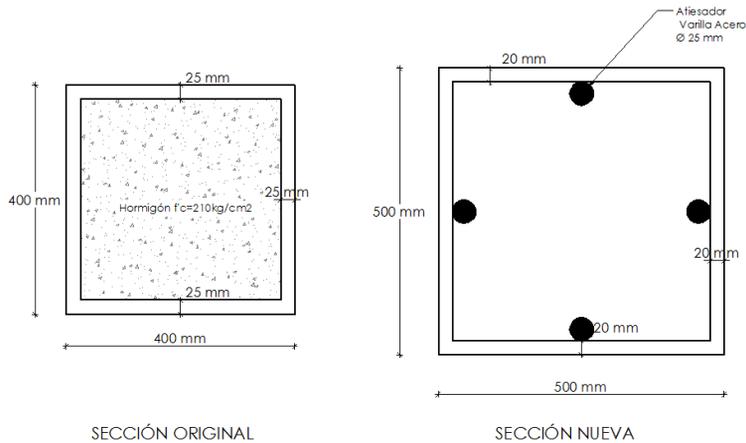


Figura 6 Columnas de acero de alternativas 1 y 2.

El acero utilizado de los perfiles estructurales es A 572 grado 50, que tiene un límite de fluencia $f_y = 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. Para que un perfil tubular sea **compacto** a flexión o compresión axial bajo el principal eje de flexión, de acuerdo al AISC 360-10 debe cumplir que:

$$\frac{b}{t} < 1.25 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (1)$$

Donde b, t son el ancho y espesor del perfil; E, f_y , son los módulos de elasticidad y de fluencia del acero para las nuevas columnas se tiene, al reemplazar valores $25 < 27.37$. Por lo tanto los dos perfiles indicados en la figura 6 son compactos. Únicamente, para tener completo el formulario se indica la ecuación que debe cumplir para ser considerada no compacta:

$$\frac{b}{t} < 1.40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2)$$

Para que sea compacta a flexión en el alma se debe cumplir que:

(3)

$$\frac{h}{t} < 2.42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

En este caso se tiene al remplazar valores $25 < 59.15$. Por lo tanto es compacta. Para que sea no compacta a flexión en el alma, debe cumplir:

$$\frac{h}{t} < 5.70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (4)$$

Para las dos alternativas las vigas de acero son tipo "I" de 550 mm, de alto; 300 mm, de ancho; 25 mm, de espesor tiene el ala y 12.5 mm, el alma; es la geometría de todas las vigas.

El bloque estructural 2 tiene un subsuelo al N – 4.94; los aisladores van sobre las columnas del subsuelo, que en la alternativa 1 son de 400/400/25 mm; mientras que en la alternativa 2 son de hormigón armado de 80/80 cm; en la parte inferior de los aisladores se tienen vigas de acero de 300/300/25/12.5 mm, y en la parte superior de los aisladores se tiene la losa conformada por vigas de acero primarias de 550/300/25/12.5 mm, secundarias y terciarias, sobre las que va una placa colaborante deck de 10 cm., de alto.

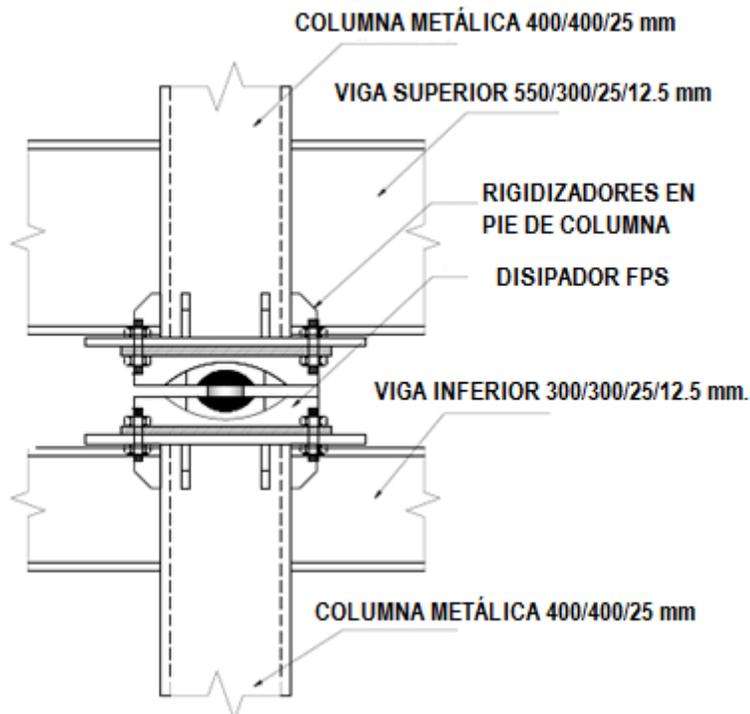


Figura 7 Colocación de aisladores para la alternativa 1.

En la figura 7 se presenta un detalle de la colocación de los aisladores para la alternativa 1 y en la figura 8 para la alternativa 2. Evidentemente para los dos casos se requiere una placa inferior de apoyo de mayor dimensión que los aisladores.

La figura 8 corresponde a los aisladores que van en el eje 9, en el bloque estructural 2, se aprecia que se encuentran sobre la columna de hormigón de 80/80 cm, y en el bloque 1 van sobre un pedestal que sale del plinto de cimentación. Lo interesante es notar que los aisladores de los bloques estructurales 1 y 2 se hallan a la misma altura y que estos bloques se encuentran separados 1.20 m.

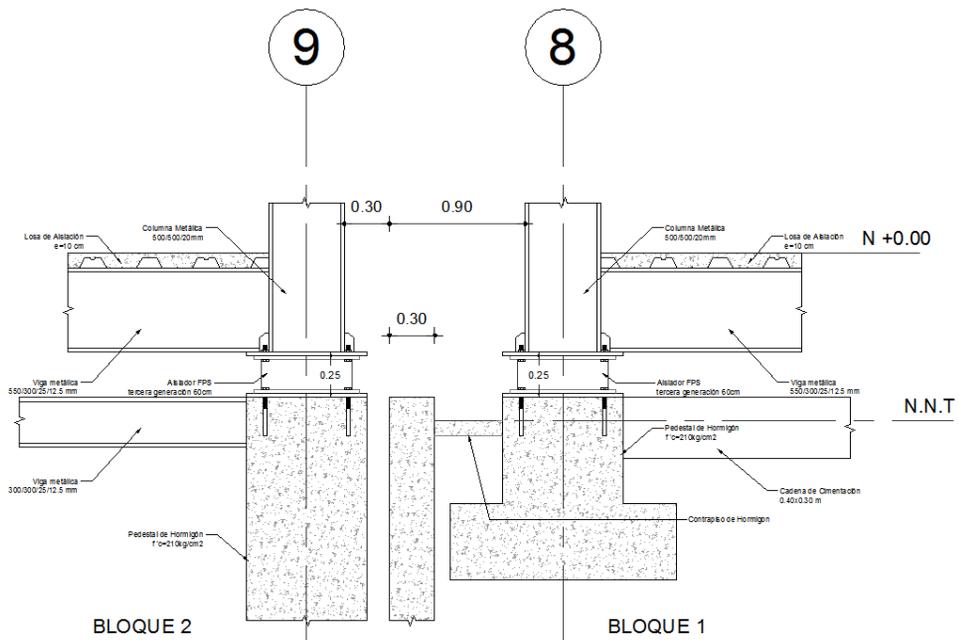


Figura 8 Colocación de aisladores para la alternativa 2 y detalle de la junta entre los bloques estructurales 1 y 2.

3. AISLADOR FPS EMPLEADO

Se realizó el análisis sísmico con un aislador FPS de la tercera generación de 75 por 75 cm., de 30 cm, de alto, que tiene una capacidad de desplazamiento de 44 cm., y para una carga vertical de 270 T., se obtuvo el diagrama de histéresis indicado en la figura 9.

En la figura 9 se ha indicado las 5 fases, en las que trabaja el aislador de acuerdo al modelo de Fenz y Constantinou (2007); la primera fase está asociada a un cortante $V = 0.05 W$, donde W es la carga vertical de 270 T. Los valores que se están presentando no son generales, son particulares para las características del aislador indicado al principio del apartado. Para la segunda fase, el cortante

$V = 0.08 W$; Para la tercera y cuarta fase los cortantes están asociados a $V = 0.10 W$; y $V = 0.125 W$. En la quinta fase en que trabaja el aislador se tiene el diagrama completo. En el eje de las abscisas se presenta los desplazamientos laterales alcanzados por el aislador.

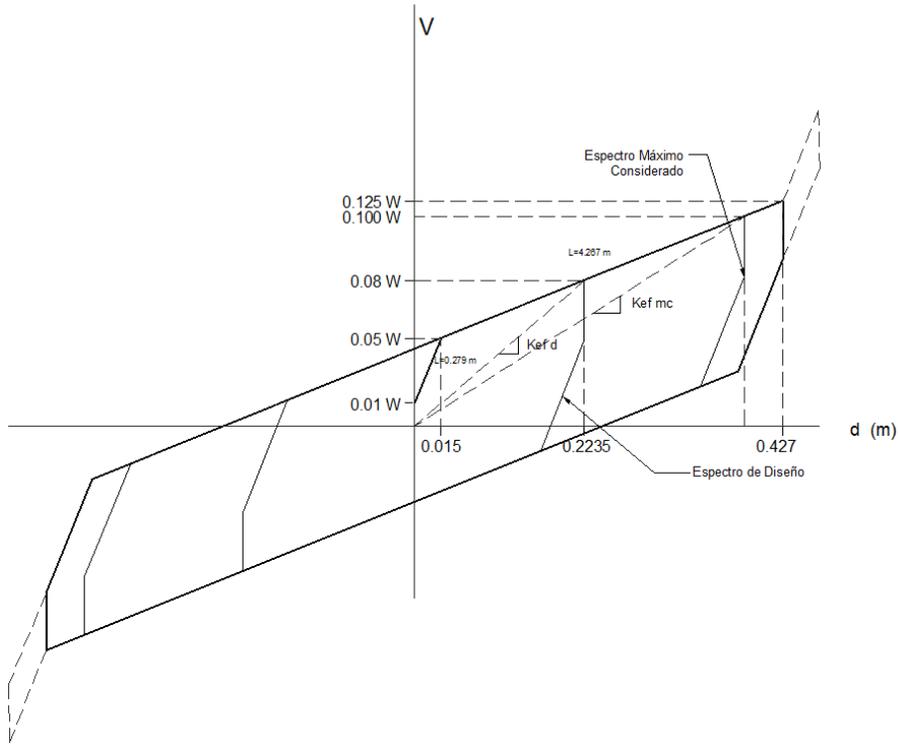


Figura 9 Diagrama de histéresis de un aislador FPS ante una carga vertical de 270 T. Fuente: EPS (2014).

En la figura 10 se describen las cinco fases del modelo de Fenz y Constantinou (2007). En la primera fase, el deslizamiento del cojinete se da en el aislador interior del FPS; en la segunda el aislador interior empieza a deslizarse en una de las placas exteriores; en la tercera fase el aislador interior se desliza en las dos placas cóncavas exteriores del aislador; en la fase IV el movimiento es tan intenso que el aislador interior choca con uno de los topes, en la figura 10 choca con el tope inferior y finalmente en la fase V, el aislador interior choca con los topes inferior y superior como se aprecia en la parte inferior derecha de la figura 10.

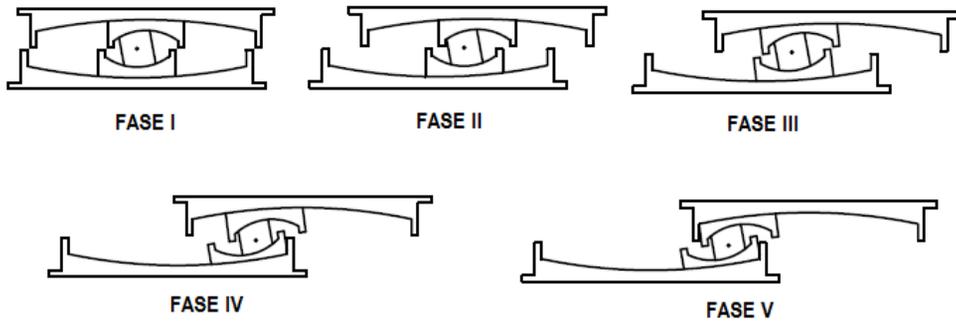


Figura 10 Fases en las que trabaja el aislador de acuerdo al modelo de Fenz y Constantinou (2007)

No es conveniente, en un diseño estructural que el aislador trabaje en la fase IV y peor en la fase V. Por lo que se recomienda que estas dos fases que aparecen en la parte exterior del diagrama de histéresis sean consideradas como un factor de seguridad y se haga trabajar al aislador solo en las fases II y III.

Fadi y Constantinou (2010) presentan un método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de la tercera generación, que involucra calcular la rigidez efectiva o secante y el factor de amortiguamiento equivalente en forma iterativa, imponiéndose un valor de desplazamiento inicial el mismo que se va recalculando hasta llegar a una convergencia dada.

Pero también Fadi y Constantinou (2010) recomiendan que en forma práctica se halle la rigidez efectiva k_{efd} como la rigidez secante que se halla al final de la II fase, para el sismo de diseño, y en base al diagrama de histéresis asociado se determine el factor de amortiguamiento equivalente ξ_{eq}

$$\xi_{eq} = \frac{E_D}{4 \pi E_E} \quad (5)$$

Donde E_D es la energía disipada en un ciclo de histéresis que puede obtenerse calculando el área encerrada en la segunda fase de cualquier manera. E_L es la energía elástica, de igual manera puede hallarse del diagrama de histéresis. Al dibujar el diagrama de histéresis en Autocad, se obtiene muy fácilmente estas áreas.

En la figura 8 la rigidez efectiva se ha identificado como k_{efd} , donde la última letra recuerda que es para el sismo de diseño.

En el siguiente apartado se hablará sobre los espectros asociados al sismo de diseño, DBE y al sismo máximo considerado, MCE. Aguiar *et al.* (2015) proponen que la rigidez efectiva k_{efmc} y el factor de amortiguamiento equivalente, para el análisis sísmico MCE se obtengan del diagrama de histéresis hallado al final de la tercera fase, da resultados muy parecidos a que si se calculara en forma iterativa como proponen Fadi y Constantinou (2010).

En base al diagrama de histéresis presentado en la figura 9, se halló la rigidez efectiva y factor de amortiguamiento, para el análisis con sismos DBE y MCE; los resultados se indican en la tabla 1.

Tabla 1 Rigidez efectiva y factor de amortiguamiento para sismos DBE y MCE

Sismo DBE		Sismo MCE	
k_{efd} (T/m)	ξ_{eq}	k_{efmc} (T/m)	ξ_{eq}
96.64	0.31	74.07	0.22

Una vez que se obtiene la rigidez efectiva y factor de amortiguamiento equivalente, el análisis sísmico se realiza considerando al aislador como un elemento corto, más de la estructura. Aguiar (2012); Aguiar *et al.* (2014).

4. ESPECTROS DE ANÁLISIS

El espectro para el sismo DBE considerado en el estudio es el propuesto por el NEC-15 para el sitio del proyecto en un perfil de suelo tipo C. (Bonifaz, 2015). Este espectro se encuentra asociado a un período de retorno de 475 años.

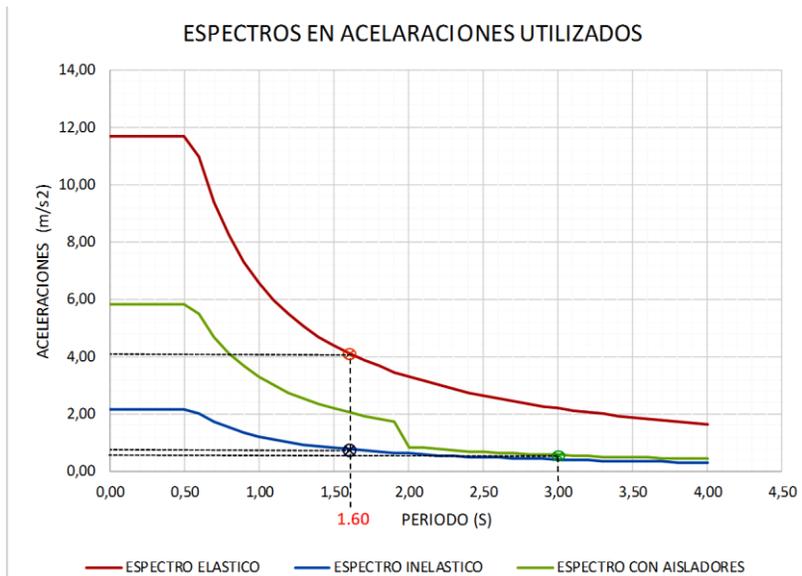


Figura 11 Espectros DBE para el análisis de la estructura sin aisladores y con aisladores sísmicos.

El espectro más grande, indicado en la figura 11, es el elástico hallado con el NEC-15. El espectro más pequeño es el inelástico encontrado para una factor de reducción de las fuerzas sísmicas $R = 6$; un factor de irregularidad en planta $\phi_p = 0.9$; un factor de irregularidad en elevación $\phi_e = 1$. Este espectro inelástico se utilizó para el análisis sísmico de la estructura sin aisladores sísmicos.

El espectro intermedio se utiliza para el análisis sísmico de la estructura con aisladores sísmicos y fue hallado para un valor $R = 2$ en la superestructura y un valor $R = 1$ para la subestructura. Para el sistema de aislación (zona de períodos altos el espectro se divide para B que considera el factor de amortiguamiento del sistema de aislación. Constantinou *et al.* 2011.

$$B = \left(\frac{\xi_{eq}}{0.05} \right)^{0.3} \quad (6)$$

Donde ξ_{eq} es el factor de amortiguamiento equivalente de todo el sistema de aislación.

Para las dos alternativas estructurales, sin aisladores sísmicos, el período fundamental se halla alrededor de 1.6 seg, y con aisladores FPS de la tercera generación el período está alrededor de los 3 seg. Estos períodos han sido señalados en la figura 11 y se aprecia que las ordenadas espectrales para 3 seg, encontradas en el espectro con aisladores son menores a las halladas para 1.6 en el espectro inelástico. Este es el fundamento de la aislación sísmica que al colocar los aisladores se flexibiliza a la estructura y se tienen aceleraciones espectrales más bajas y por ende las fuerzas estáticas equivalentes son bajas pero al tener períodos altos los desplazamientos espectrales esperados son más altos. Aguiar *et al.* 2008.

El espectro del sismo MCE, que tiene un período de retorno de 2475 años se halló multiplicando el espectro del sismo DBE por 1.5.

5. RESULTADOS

Como se manifestó se realizó el análisis sísmico en las dos alternativas estructurales sin aisladores y con aisladores FPS de la tercera generación; los resultados se identifican de la siguiente manera.

- **1SA.-** Al análisis sísmico en la alternativa estructural 1 sin aisladores sísmicos.
- **1CA.-** Al análisis sísmico en la alternativa estructural 1 con aisladores FPS de tercera generación.
- **2SA.-** Al análisis sísmico en la alternativa estructural 2 sin aisladores sísmicos.
- **2CA.-** Al análisis sísmico en la alternativa estructural 2 con aisladores FPS de tercera generación.

Se realizó un análisis modal espectral, considerando tres grados de libertad por planta (hipótesis de losa rígida) ubicados en el centro de masas, empleando el método de superposición modal. Se utilizó el criterio de la

combinación cuadrática completa CQC (Chopra, 2001) para hallar las respuestas máximas probables.

La carga muerta considerada es $D = 0.77 T/m^2$, para los pisos intermedios y $D = 0.65 T/m^2$, para las losas de cubierta. La carga viva con la que se realizó el análisis sísmico es $L = 0.25 T/m^2$ para los pisos intermedios y $L = 0.125 T/m^2$, para la losa de cubierta. La matriz de masas se halló con $D + 0.25 L$.

Se ha identificado como dirección X, a la paralela a los pórticos A, C, E, etc., y como dirección Y, a la paralela a los pórticos 9, 10 y 11.

A continuación se presenta los períodos de vibración T , en los tres primeros modos de vibración; los desplazamientos inelásticos q , en el centro de masas, para la superestructura se indican desplazamientos relativos con respecto al desplazamiento del aislador; las derivas de piso inelásticas γ para los pisos.

Tabla 2 Análisis sísmico en X para sismo DBE

SISMO DBE EN X		1SA	1CA	2SA	2CA
T (seg).	1 Modo	1.463	3.178	1.531	2.958
	2 Modo	1.452	3.119	1.386	2.927
	3 Modo	1.022	2.194	1.297	2.572
q (m.)	1 Piso	0.075	0.0075	0.091	0.0081
	Aislador		0.1577		0.151
	2 Piso	0.187	0.032	0.227	0.028
	3 Piso	0.278	0.059	0.341	0.053
	4 Piso	0.340	0.076	0.425	0.073
	5 Piso	0.354	0.076	0.538	0.074
γ (%)	1 Piso	1.520	0.15	1.837	0.16
	2 Piso	2.255	0.652	2.753	0.567
	3 Piso	1.856	0.544	2.318	0.504
	4 Piso	1.245	0.344	1.703	0.401
	5 Piso	0.283	0	2.274	0.021

Tabla 3 Análisis sísmico en Y para sismo DBE

SISMO DBE EN Y		1SA	1CA	2SA	2CA
T (seg).	1 Modo	1.463	3.178	1.531	2.958
	2 Modo	1.452	3.119	1.386	2.927
	3 Modo	1.022	2.194	1.297	2.572
q (m.)	1 Piso	0.074	0.0076	0.089	0.0078
	Aislador		0.165		0.153
	2 Piso	0.181	0.025	0.217	0.024
	3 Piso	0.270	0.044	0.322	0.045
	4 Piso	0.336	0.066	0.394	0.061
	5 Piso	0.387	0.076	0.436	0.069
γ (%)	1 Piso	1.503	0.15	1.814	0.15
	2 Piso	2.162	0.498	2.582	0.481

	3 Piso	1.805	0.450	2.123	0.423
	4 Piso	1.327	0.379	1.462	0.324
	5 Piso	1.044	0.215	0.847	0.162

La estructura sin aisladores sísmicos, para las dos alternativas presenta desplazamientos laterales y derivas de piso muy altas por lo que necesariamente tiene que ser aisladas ya que ahí se reducen notablemente los desplazamientos y derivas de piso.

En la estructura aislada, la alternativa 2 es la que presenta menores desplazamientos laterales y por ende menores derivadas de piso. Para el sismo MCE los aisladores se desplazan 28.3 cm., en dirección Y. cantidad que garantiza que efectivamente los aisladores van a trabajar en la fase III, de la figura 9. Cada aislador tiene una capacidad máxima de desplazamiento de 44 cm, pero no se quiere incursionar en la fase IV o V.

Tabla 4 Análisis sísmico en X para sismo MCE

SISMO MCE EN X		1SA	1CA	2SA	2CA
<i>T (seg).</i>	1 Modo	1.463	3.483	1.531	3.215
	2 Modo	1.452	3.363	1.386	3.194
	3 Modo	1.022	2.303	1.297	2.801
<i>q (m.)</i>	1 Piso	0.113	0.0177	0.136	0.0123
	Aislador		0.293		0.279
	2 Piso	0.280	0.049	0.340	0.043
	3 Piso	0.417	0.089	0.512	0.081
	4 Piso	0.510	0.112	0.638	0.110
	5 Piso	0.531	0.112	0.807	0.110
<i>γ (%)</i>	1 Piso	2.283	0.36	2.756	0.25
	2 Piso	3.382	0.988	4.130	0.873
	3 Piso	2.784	0.818	3.477	0.775
	4 Piso	1.868	0.460	2.554	0.584
	5 Piso	0.424	0.0	3.411	0.000

Tabla 5 Análisis sísmico en Y para sismo MCE

SISMO MCE EN Y		1SA	1CA	2SA	2CA
<i>T (seg).</i>	1 Modo	1.463	3.483	1.531	3.215
	2 Modo	1.452	3.363	1.386	3.194
	3 Modo	1.022	2.303	1.297	2.801
<i>q (m.)</i>	1 Piso	0.111	0.0114	0.134	0.0118
	Aislador		0.307		0.283
	2 Piso	0.272	0.047	0.326	0.036
	3 Piso	0.405	0.088	0.483	0.068
	4 Piso	0.504	0.121	0.591	0.092
	5 Piso	0.581	0.141	0.654	0.104
<i>γ (%)</i>	1 Piso	2.255	0.23	2.722	0.23
	2 Piso	3.243	0.947	3.873	0.737

	3 Piso	2.707	0.828	3.184	0.648
	4 Piso	1.991	0.669	2.193	0.477
	5 Piso	1.567	0.410	1.270	0.235

El desplazamiento lateral máximo, de toda la estructura, que se halla en la dirección Y, para el sismo MCE es de 39.88 cm, redondeando se tiene 40 cm. En el bloque estructural 1, los aisladores se colocan sobre la cimentación y en el bloque estructural 2, sobre las columnas del primer piso. Por lo tanto existe una probabilidad de que en algún momento trabajen en desfase y las dos estructuras tiendan a chocarse, en ese caso se tendría como separación 80 cm., entre los dos bloques estructurales pero se está dejando una junta de 120 cm., como se ve en la figura 8.

Finalmente en la figura 12 se presenta a la izquierda los desplazamientos esperados en cada piso en la **alternativa 2**, ante un sismo actuando en sentido X, con línea discontinua se tiene para el sismo DBE y con línea continua para el MCE. A la derecha de esta gráfica se presenta algo similar pero en sentido Y.

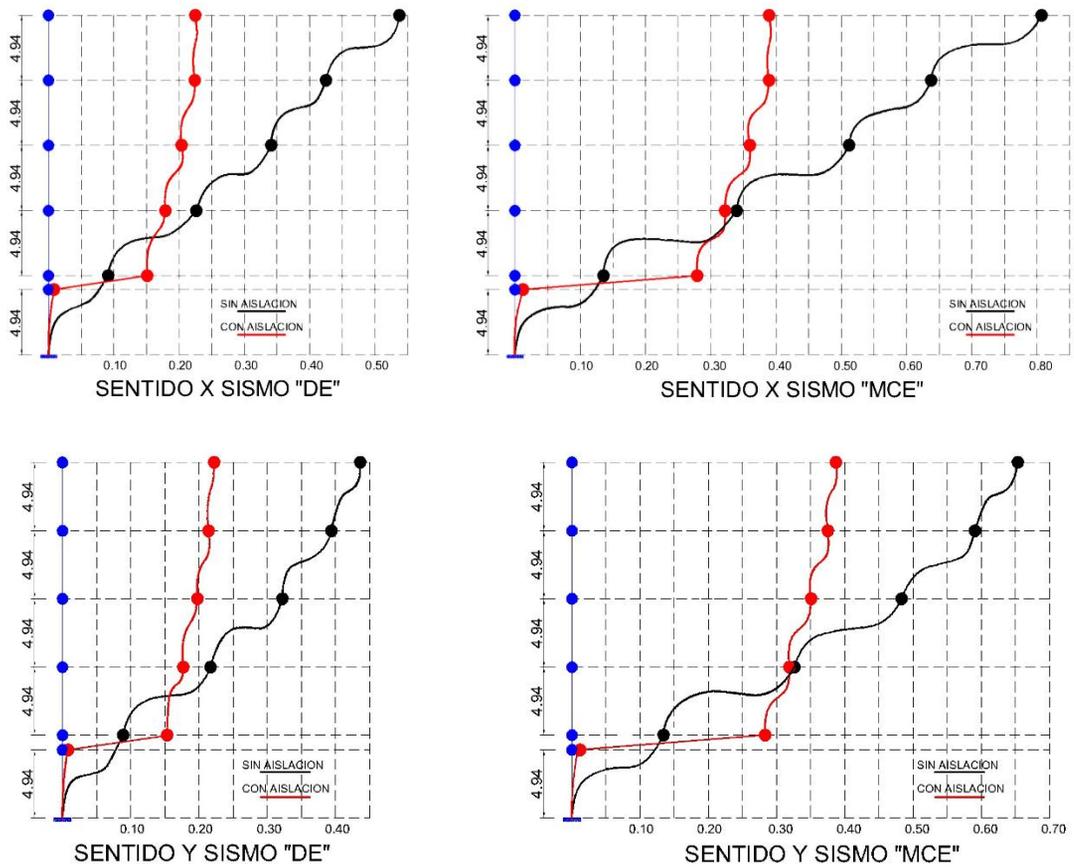


Figura 12 Desplazamientos esperados en alternativa 2, ante sismo DBE y MCE en las direcciones X, a la izquierda, Y a la derecha.

6. COMENTARIOS

Los resultados presentados en este apartado son preliminares y dan una buena idea de que con aisladores FPS de la tercera generación de 75/75/30 cm, con una capacidad de desplazamiento lateral de 44 cm, son adecuados pero el diseño definitivo deberá considerar las cargas que llegan a los aisladores que se indican en la tabla 6.

Tabla 6 Cargas que llegan a los aisladores en Bloque Estructural 2

Ejes	P_D (T)	P_L (T)	P_{D+L} (T)	Similar
C10	301.64	89.39	391.03	
H10	244.34	92.50	336.84	
H11	152.97	46.18	199.15	H9
E10	332.27	95.57	427.84	
C11	147.64	44.03	191.67	C9

En la tabla 6 se indica, la carga permanente P_D que llega al aislador; la carga viva P_L y la suma de esta dos cargas P_{D+L} . No se puede pensar en obtener un aislador para cada tipo de carga, por lo que se decidió trabajar en el Bloque Estructural 2, con dos tipos de aisladores y son: **el más grande para una carga muerta de 300 T., y una carga viva de 100 T; el otro es para una carga muerta de 150 T., y carga viva de 50 T.**

7. CONCLUSIONES

Se ha presentado dos alternativas para la configuración estructural del Bloque 2, del nuevo Centro de Investigaciones Científicas de la UFA-ESPE y se ha visto, por los resultados alcanzados en la estructura con aisladores FPS de la tercera generación, **que la alternativa 2 es la más adecuada.** Al tener columnas cuadradas de hormigón armado de 80 cm., de lado en el subsuelo se facilita la colocación de los aisladores ya que su base va a estar totalmente apoyada.

Por otra parte, las columnas de acero tubular de 500/500/20 mm, de la segunda alternativa, tienen un área transversal muy similar a las de 400/400/25 mm, de tal manera que el costo va a ser muy parecido pero la primera tiene mayor inercia a flexión.

REFERENCIAS

1. Aguiar Roberto, Morales Enrique, Guaygua Byron, Rodríguez Michael, (2015), "Variante propuesta a los métodos simplificados para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de la tercera generación", *Revista Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*, RIMNI, aceptado para su publicación, 8 p.

-
2. Aguiar R., Vergara F., Guaygua B., Monge J. P. (2014), "Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de primera y segunda generación", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 19 (1), 35-89.
 3. Aguiar R. (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
 4. Aguiar R., Almazán L., Dechent P., Suárez V., (2008), *Aisladores de base elastoméricos y FPS*, Escuela Politécnica del Ejército ESPE, 292 p.
 5. Bonifaz Hugo, (2015), *Informe de suelos. Edificio de Investigaciones*. Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM-ESPE, 33 p., Sangolquí.
 6. Chopra A. K. (2001), *Dynamic of structures: Theory and applications to earthquake engineering*, 2nd edn. Prentice Hall: Saddle River New York.
 7. Constantinou, M.C, Kalpakidisk, I., Filiatrault A., Ecker R.A., *LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators*, MCEER Report 11-0004, September 26, 2011.
 8. Delgado Alejandra, (2015) *Reuniones de trabajo en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, realizadas en agosto*, Responsable del Proyecto Arquitectónico.
 9. EPS (2014), "Triple pendulum seismic isolation solution to achieve 90% reliability of continued functionality for Solarium Tower, Columbia", Earthquake Protection Systems, Inc.
 10. Fadi F., and Constantinou M. (2010), "Evaluation of simplified methods of analysis for structures with triple friction pendulum isolators", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 5-22.
 11. Fenz D., Constantinou M., (2007), *Mechanical behavior of multi-spherical sliding bearings*, Technical Report MCEER-08-0007, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.
 12. NEC-SE-DS (2015) *Cargas Sísmicas, Diseño Sismo Resistente*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.