

ANÁLISIS SÍSMICO DE BLOQUE ESTRUCTURAL 3 DEL NUEVO CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA UFA ESPE, CON AISLADORES FPS DE TERCERA GENERACIÓN

SEISMIC ANALYSIS OF BUILDING BLOCK 3 OF THE NEW RESEARCH CENTER OF UFA ESPE, WITH ISOLATORS FPS THIRD GENERATION

Roberto Aguiar⁽¹⁾ y Bayron 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 presenta el marco teórico con el cual se ha realizado el análisis sísmico del Bloque Estructural 3, en forma espacial, con aisladores FPS de la tercera generación y considerando dos sismos de análisis que tienen períodos de retorno de 475 años que corresponde al sismo de diseño DBE y 2475 años al sismo máximo considerado MCE. Se indica con detalle la forma como el aislador se modela con un elemento corto.

Entre los resultados que se presentan están las derivas de piso y las aceleraciones de piso, que son bastante bajas con lo que se garantiza un buen desempeño de los elementos no estructurales y se minimizan las pérdidas de los equipos que pueden afectarse durante un sismo por su caída.

Palabras Claves: Bloque Estructural 3. Sismos DBE y MCE. Aisladores FPS

ABSTRACT

The theoretical framework which has made the structural seismic analysis of Block 3, spatially, with FPS isolators third generation and analysis considering two earthquakes with return periods of 475 years corresponds to design earthquake occurs DBE and 2475 years the maximum considered earthquake MCE. It is shown in detail how the insulator is modeled with a short element.

Among the results presented are drifts floor and floor accelerations, which are quite low so a good performance of nonstructural elements is guaranteed and

Recibido: Agosto de 2015
Aceptado: Septiembre de 2015

losses of equipment that may be affected during an earthquake by minimizing their fall.

Keywords: Structural Block 3. Earthquakes DBE and MCE. FPS isolators

1. INTRODUCCIÓN

En la figura 1 se presenta una panorámica de los Bloques Estructurales 1, 2 y 3, en elevación, se aprecia que el Bloque 1 se encuentra sobre una terraza que está 4.94 m, más arriba que los bloques 2 y 3; los aisladores se hallan sobre los pedestales de la cimentación y tiene 2 pisos en un sector y 3 en otro sector, es el Centro de Investigaciones de Mecánica y Ciencias de la Tierra.

El Bloque 2 tiene un subsuelo y por la cercanía con el muro de contención del Bloque 1, se decidió colocar los aisladores sobre las columnas del primer piso, de tal manera que se encuentren a igual altura que el Bloque 1. Este bloque tiene un subsuelo y tres pisos altos en una zona y 4 pisos en otra, es el Centro de Investigaciones de Ciencias de la Vida.

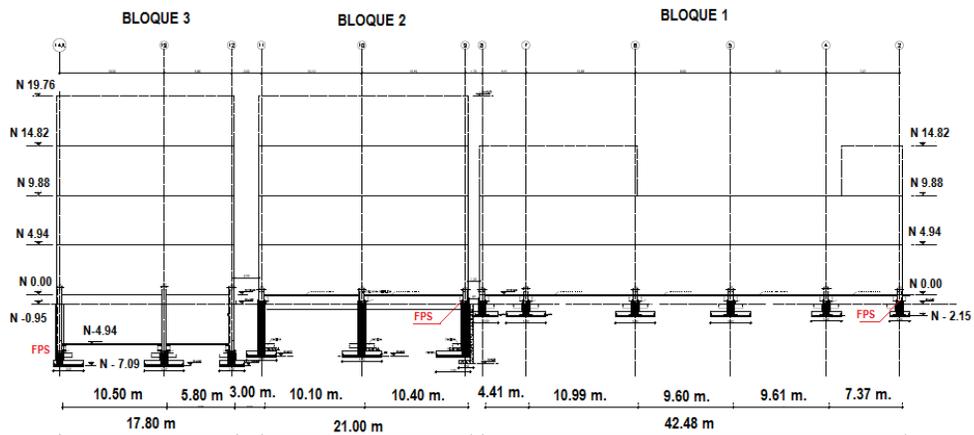


Figura 1 Panorámica de los Bloques Estructurales 1, 2 y 3, del nuevo Centro de Investigaciones Científicas de la UFA-ESPE.

Entre los Bloques 2 y 3 hay una separación, entre sus fachadas de 2.70 m, y están unidos por un puente, que tiene un detalle constructivo que se presentará en otra publicación, pero básicamente consiste en construir un voladizo de 2.0 m., de longitud a partir del Bloque 2 y otro voladizo de la misma longitud pero que está empotrado al Bloque 3 y está más abajo que el otro voladizo, de esta forma los dos bloques estructurales se mueven independientemente y no hay opción de que se choquen las losas del puente debido a que se encuentran a diferente altura.

Los aisladores FPS, del Bloque Estructural 3, se colocan sobre los pedestales de la cimentación, como se aprecia en la figura 1. De igual manera en elevación es una estructura irregular con 4 pisos en un sector y 5 en otro. Aquí funcionarán los Centros de Investigación de Nanotecnología y Nanociencia.

En la figura 2 se presenta la planta tipo del Bloque Estructural 3, se aprecia que en el sentido X, se tiene 4 pórticos y son el: A, C, E y F. En dirección Y se tiene 3 pórticos y son el 13, 14 y 15. En los niveles -4.94; 0.00; 4.94; 9.88 y 14.82; la estructura tiene la planta indicada en la figura 2 pero en el nivel 19.76 solo sube desde el vano comprendido entre los ejes E-F, de tal manera que es irregular en planta y elevación. Con una distancia muy considerable en la ubicación del Centro de Masas entre los pisos 4 y 5.

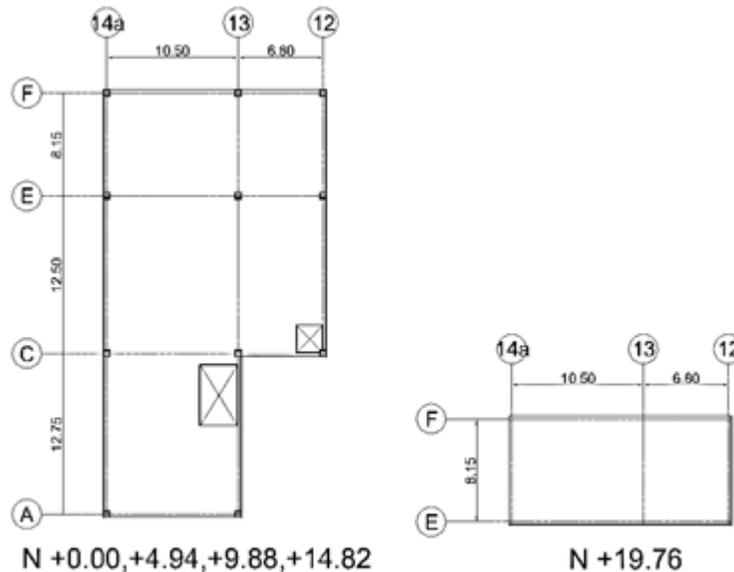


Figura 2 Descripción de la planta del Bloque Estructural 3

La estructura es irregular en planta y elevación, por lo que sus modos de vibración están acoplados y existen problemas de torsión, los mismos que se minimizan por la presencia de los aisladores sísmicos.

Los dos rectángulos interiores de la figura 2 corresponden a las gradas, el de mayor tamaño (cerca al eje 13) y al ascensor el más pequeño (en la intersección de los ejes C y 12).

2. ANÁLISIS SÍSMICO CON *CEINCI-LAB*

Se describe el procedimiento de cálculo realizado para el análisis sísmico en coordenadas de piso, por el método de superposición modal, empleando el sistema de computación *CEINCI-LAB*. Aguiar (2012, 2014).

2.1 Rigidez lateral

Para la determinación de la matriz de rigidez lateral, de cada uno de los pórticos, se modela al aislador como un elemento corto y la losa de aislación pasa a ser un nuevo piso. El bloque 3 tiene 5 pisos pero por la presencia de los aisladores se tiene 6 pisos.

Para ilustrar lo indicado en la figura 3 se presenta la geometría del pórtico 13 del Bloque 3; se ha numerado los nudos, empezando por los restringidos (empotramientos) y para los elementos primero se numeran todos los elementos de acero, que van del 1 al 34 y posteriormente los elementos cortos que representan al aislador, que van desde el 35 al 38.

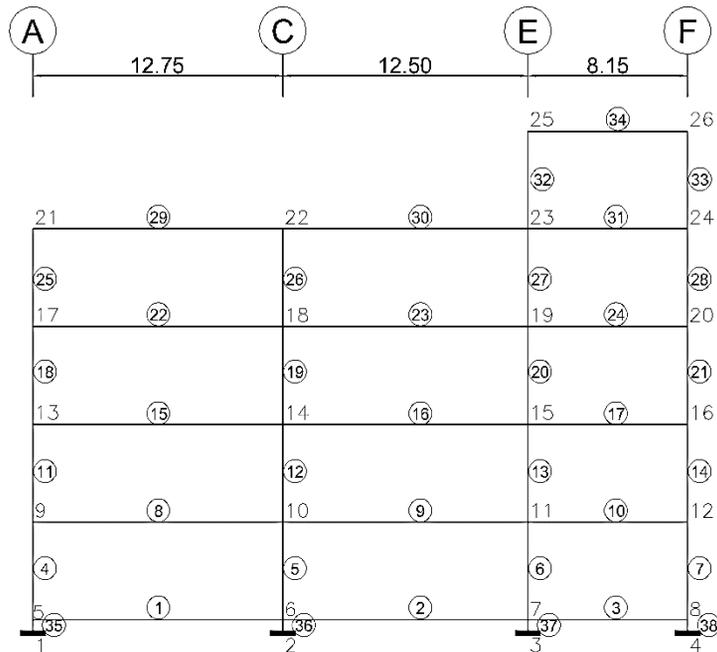


Figura 3 Numeración de nudos y elementos de pórtico 13.

Al numerar al final los elementos cortos que representan a los aisladores, la matriz de rigidez de la estructura es igual a la contribución de los elementos de acero más la contribución de los elementos disipadores.

$$KT = KA + KD \quad (1)$$

Donde KT es la matriz de rigidez asociada a todos los grados de libertad del pórtico, se considera un grado de libertad horizontal por piso (vigas axialmente rígidas) y dos grados de libertad en cada nudo, una componente de desplazamiento vertical y una rotación. KA es la contribución de los elementos de acero a la matriz de rigidez, que se halla en la forma convencional por ensamblaje directo. KD es la contribución de los elementos que representan al aislador.

Se denominan coordenadas principales a las laterales que para el pórtico de la figura 3, son 6 y coordenadas secundarias a los restantes grados de libertad, 2 por nudo que da un total de 44 grados de tal manera que el pórtico tiene 50 grados de libertad. Aguiar (2014).

La contribución a la matriz de rigidez de los elementos de acero se halla con el programa del sistema de computación **CEINCI-LAB** denominado

rigidez acero y la contribución de los aisladores con el programa **rigidez aisladores**.

En la figura 4 se indica a la izquierda la sección transversal de las columnas tubulares de 500/500/20 mm, y la viga tipo "I" de 550/300/25/12.5. El acero utilizado es A 572, grado 50, que tiene un límite de fluencia de 3515 kg/cm².

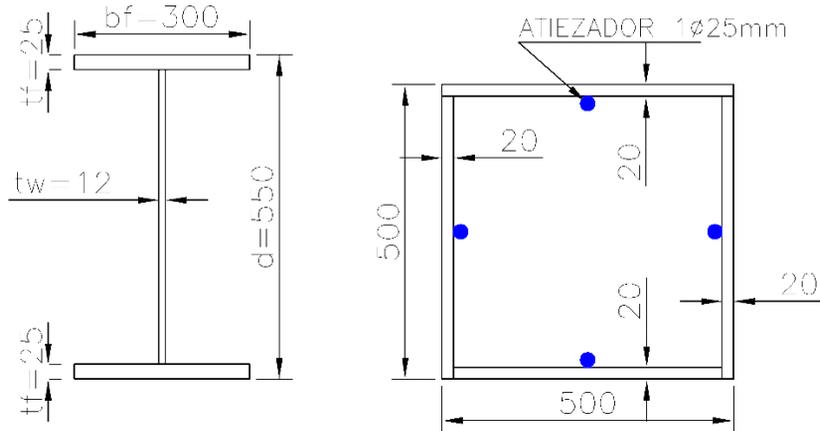


Figura 4 Sección transversal de columnas y vigas de acero.

Del diagrama de histéresis del aislador, que relaciona el desplazamiento lateral con la fuerza horizontal, se encuentra la rigidez efectiva k_{ef} utilizando el modelo simplificado de Fenz y Constantinou (2007) o el modelo de Fadi y Constantinou (2010) Pero en este artículo la rigidez efectiva se calculó con la variante propuesta por Aguiar *et al.* (2015) a los anteriores trabajos, que da muy buenos resultados.

A la izquierda de la figura 5 se presenta un aislador colocado sobre una viga de cimentación y la viga de la losa de aislación. Al modelarlo como un elemento corto de longitud L , se tiene que esta longitud es igual a la suma de las distancias del centro de gravedad del aislador al centro de gravedad de las vigas, que se han denominado: l_i, l_j .

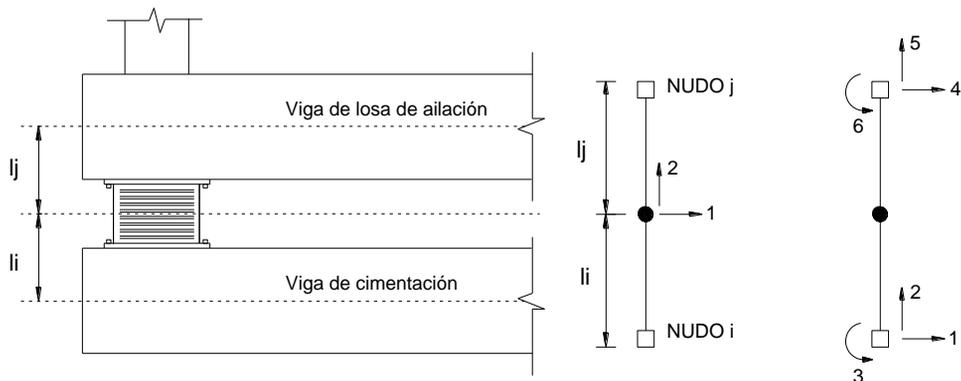


Figura 5 Sistema de coordenadas locales y globales para el elemento aislador.

A la derecha de la figura 5 se presenta en primer lugar el sistema de coordenadas locales del elemento aislador y el sistema de coordenadas globales.

La matriz de rigidez del elemento aislador en coordenadas locales \mathbf{k}_0 es la siguiente:

$$\mathbf{k}_0 = \begin{bmatrix} k_{ef} & 0 \\ 0 & k_v \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde k_{ef} es la rigidez efectiva del aislador; k_v es la rigidez vertical del aislador. En Constantinou *et al.* (2011) se presenta otras formas de cálculo de estas rigideces. Sea \mathbf{k}_3 la matriz de rigidez en coordenadas globales del elemento aislador, que se indica a la derecha de la figura 5, la misma que se obtiene con la matriz cinemática \mathbf{T} de la siguiente manera:

$$\mathbf{k}_3 = \mathbf{T}^t \mathbf{k}_0 \mathbf{T} \quad (3)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & l_i & 1 & 0 & l_j \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Se destaca que existen giros en el aislador pero no momentos. Con la rigidez de elemento aislador en coordenadas globales se realiza el ensamblaje para hallar \mathbf{KD} .

Una vez que se tiene \mathbf{KT} se condensa la matriz de rigidez a las coordenadas laterales, para el efecto se tiene tres formas de cálculo, la primera invirtiendo una matriz, la segunda mediante solución de ecuaciones y la más óptima por medio de la triangularización de Gauss. Aguiar (2012).

La matriz de rigidez lateral, es aquella matriz que está asociada a las coordenadas laterales de un pórtico.

2.2 Matriz de rigidez y de masas en coordenadas de piso

En la figura 6 se presentan las coordenadas de piso, en el centro de masas, del Bloque Estructural 3. Primero se ha numerado la componente de desplazamiento en sentido X, desde la losa de aislación hasta la cubierta, después las componentes de desplazamiento en sentido Y, finalmente las rotaciones de piso. Cuando se numera de esta forma las coordenadas de piso, la matriz de paso \mathbf{A} de coordenadas laterales a coordenadas de piso, tiene la siguiente forma.

$$\mathbf{A}^{(i)} = \begin{bmatrix} \text{Cos}\alpha & & & \text{Sen}\alpha & & & r_1 \\ & \text{Cos}\alpha & & & \text{Sen}\alpha & & r_2 \\ & & \dots & & & & \dots \\ & & & \text{Cos}\alpha & & \text{Sen}\alpha & r_n \end{bmatrix}$$

(5)

Donde α es el ángulo que forma la orientación positiva del pórtico con el eje de las X. Para pórticos paralelos al eje X este ángulo vale 0^0 y para pórticos perpendiculares al eje X vale 90^0 . Por otra parte r_j es la distancia desde el Centro de Masa al pórtico en el piso j, será positiva si la orientación del pórtico rota con respecto al centro de masa en sentido anti horario. La orientación positiva de los pórticos es paralela y en el sentido de los ejes X, Y.

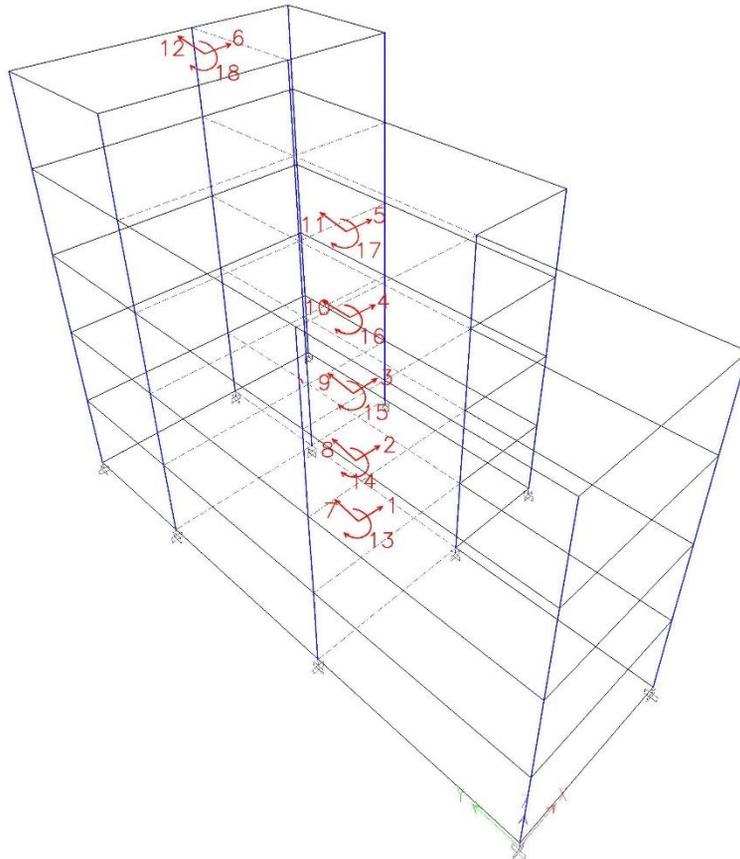


Figura 6 Coordenadas de piso de Bloque Estructural 3.

La matriz de rigidez en coordenadas de piso K_E se encuentra con la siguiente ecuación.

$$K_E = \sum A^{(i)t} K_L^{(i)} A^{(i)} \quad (6)$$

La sumatoria se extiende al número total de pórticos. La variable no definida es K_L que es la matriz de rigidez lateral de los pórticos.

CEINCI-LAB proporciona una serie de programas que facilitan el cálculo, para hallar la matriz de rigidez en coordenadas de piso, el programa se llama

matriz es, el usuario lo que debe saber es los datos de entrada y los resultados que se obtienen.

En el capítulo XV de Aguiar (2014) se presenta un manual de uso del **CEINCI-LAB** para el análisis estático de estructuras y en Aguiar (2012) se presentan los programas para el análisis sísmico.

Es muy sencillo programar con **CEINCI-LAB**, claro está que el usuario tiene que saber cómo se resuelve manualmente, para programar.

La matriz de masas en coordenadas de piso, **M** es la siguiente.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{m} & & \\ & \mathbf{m} & \\ & & \mathbf{J} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Donde **m** es la submatriz que contiene a cada una de las masas de piso de la estructura; **J** es la submatriz que contiene a los momentos de inercia de las masas de cada piso, evaluadas en el centro de masas.

$$\mathbf{m} = \begin{bmatrix} m_1 & & \\ & m_2 & \\ & & \dots \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_1 & & \\ & J_2 & \\ & & \dots \end{bmatrix} \quad (9)$$

Donde m_1 es la masa total del piso 1, para la estructura analizada sería de la losa de aislación y es igual al peso que gravita sobre el piso para la gravedad. En general m_i es la masa total del piso i ; por otra parte, J_i es el momento de inercia de la masa m_i .

Para el Bloque 3, la matriz de rigidez \mathbf{K}_E y la de masas **M**, en coordenadas de piso son de 18 por 18. En cambio las submatrices **m** y **J** son de 6 por 6.

2.3 Método de Superposición Modal

Una vez que se tiene las matrices de rigidez y de masas, en coordenadas de piso, se halla los períodos y modos de vibración de la estructura con el programa **orden_eig**.

Con cada valor de período T_i se ingresa al espectro y se determina la aceleración espectral A_{di} ; para ello, el espectro elástico que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, se divide para el factor de reducción de las fuerzas sísmicas R , en la zona de períodos cortos y para B en la zona de períodos largos, donde van a trabajar los aisladores.

Se trabajó con un valor de $R = 2$ y el factor B se obtuvo en función del amortiguamiento equivalente de cada aislador. El valor de $R = 2$ corresponde a la sobre resistencia que se estima tiene la estructura, para que tenga ese valor se requiere un control riguroso de la construcción. Aguiar (2007).

El usuario debe hacer un pequeño programa para encontrar los factores de participación modal Γ_i .

$$\Gamma_i = \frac{\phi^{(i)t} \mathbf{M} \mathbf{b}}{\phi^{(i)t} \mathbf{M} \phi^{(i)}} \quad (10)$$

Donde \mathbf{b} es el vector de incidencia de los grados de libertad con respecto al movimiento del suelo, se está trabajando en coordenadas absolutas por lo tanto el vector de incidencia para sismo en sentido X, será igual a un vector unitario y dos vectores cero; para sismo en sentido Y es: vector cero, vector unitario y vector cero. El número de elementos de cada vector es el número de grados de libertad, del sistema de coordenadas de piso. El vector \mathbf{b} tiene 18 elementos, para el análisis sísmico en sentido X, los 6 primeros valen 1 y los restantes 0. La variable todavía no definida es $\phi^{(i)}$ que es el modo de vibración i . Para cuando se trabaja con espectro el factor de participación modal se obtiene en valor absoluto. Aguiar (2012)

Se pudo haber elaborado un programa para determinar el factor de participación modal, pero se deja a que el usuario lo programe, para que no sea utilizar uno de los tantos programas que existen en que solo se debe dar datos y no se programa nada. En este sentido **CEINCI-LAB** tiene también un carácter académico en que se desea que el usuario participe elaborando pequeños programas.

Posteriormente se determina los desplazamientos y giros en coordenadas de piso, para el efecto primero se encuentra el vector de coordenadas generalizadas $\mathbf{q}^{(i)}$ en cada modo de vibración mediante la siguiente ecuación.

$$\mathbf{q}^{(i)} = \Gamma_i \left(\frac{T_i}{2\pi} \right)^2 A_{di} \phi^{(i)} \quad (11)$$

La variable no definida es T_i que es el período de vibración en el modo i . Se encuentra el vector de coordenadas \mathbf{q} aplicando el criterio de combinación modal CQC (Combinación cuadrática completa).

Luego se determina las fuerzas y momentos en coordenadas de piso, en cada modo de vibración $\mathbf{F}^{(i)}$ y al aplicar el criterio CQC se encuentra la resultante.

$$\mathbf{F}^{(i)} = \Gamma_i A_{di} \mathbf{M} \phi^{(i)} \quad (12)$$

Para evaluar daño en los componentes no estructurales, interesa conocer la aceleración de piso A_{pj} , el subíndice j indica el piso, para ello se resuelve el sistema de ecuaciones lineales:

$$\mathbf{M} \mathbf{A}_p = \mathbf{F} \quad (13)$$

El marco teórico del método de superposición modal y los programas de **CEINCI-LAB** con los que se obtienen los desplazamientos y fuerzas en coordenadas de piso se hallan en Aguiar (2012).

3. AISLADOR FPS Y ESPECTROS

En la figura 7 se presenta el diagrama de histéresis de un aislador FPS de la tercera generación de 75 por 75 cm, y 30 cm, de alto, sometido a una carga vertical de 270 T. En la tabla 1, se indica la rigidez efectiva y factor de amortiguamiento equivalente encontrado para el sismo DBE que tiene un período de retorno de 475 años y para el sismo MCE cuyo período de retorno es 2475 años. Aguiar *et al.* (2015).

Con los valores de la tabla 1 se realizó el análisis sísmico en el Bloque Estructural 3. El sismo DBE se obtiene del NEC-15 para el sitio del Proyecto que tiene un valor $z = 0.4$, y para un perfil de suelo tipo "C". Bonifaz (2015).

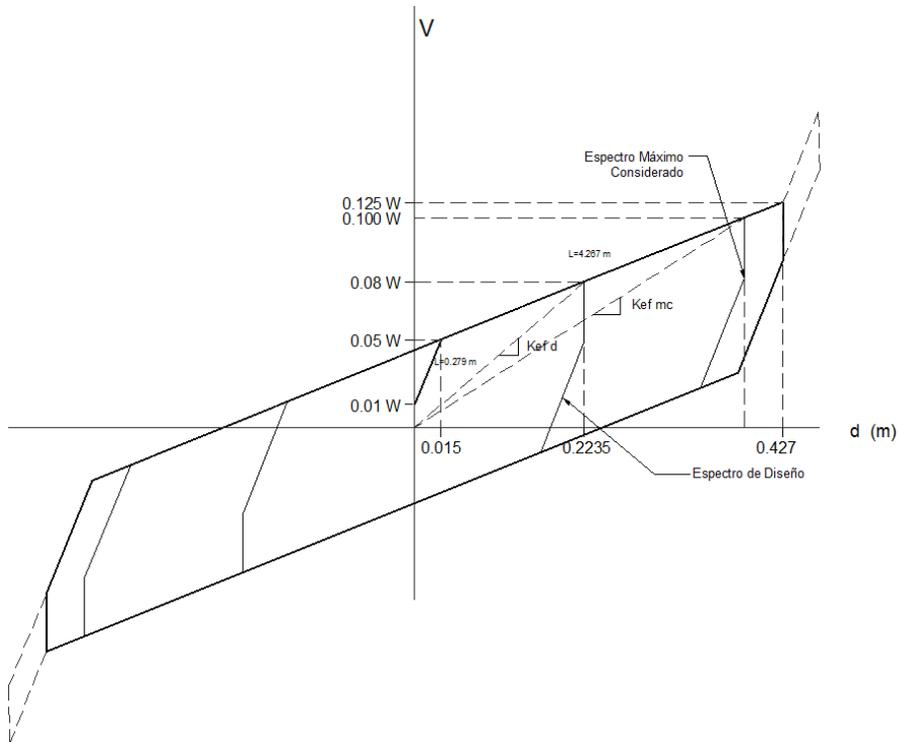


Figura 7 Diagrama de histéresis de un aislador FPS ante una carga vertical de 270 T. Fuente: EPS (2014).

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
-------	------	-------	------

El espectro de diseño DBE del NEC-15 tiene un período de retorno de 475 años; para el sismo máximo considera MCE, con un período de retorno de 2475 años se multiplicó las ordenadas del espectro DBE por 1.5

4. RESULTADOS

El período fundamental de la estructura sin aislación es 1.325 seg, de tal manera que la aceleración espectral correspondiente es bastante alta y de la estructura aislada, para el sismo DBE es 2.964 seg, y para el sismo MCE es 3.100s seg; con estos períodos la aceleración espectral es baja; en la tabla 2 se presentan los períodos para los tres primeros modos de vibración.

Tabla 2 Períodos de vibración en tres primeros modos de estructura sin aisladores y con aisladores para sismos DBE y MCE.

Modo	Estructura no aislada <i>T</i> (seg.)	Estructura con aislamiento	
		DBE <i>T</i> (seg.)	MCE <i>T</i> (seg.)
1	1.325	2.964	3.103
2	1.305	2.935	3.077
3	1.137	2.500	2.625

Las respuestas máximas probables que se hallan, en sentido X, y en sentido Y, para los sismos DBE y MCE, se indican en la tabla 3; primero se indican los desplazamientos laterales inelásticos q , destacando que para la superestructura los desplazamientos son relativos con respecto al movimiento del aislador; luego las derivas de piso Γ en porcentaje; después las fuerzas laterales en el centro de masas F ; posteriormente el cortante basal V_0 ; el coeficiente sísmico c ; y las aceleraciones que ingresan a cada piso de la estructura A_p

En la tabla 3 se observa que ante el sismo DBE, los aisladores se van a desplazar alrededor de los 13 cm, y ante el sismo MCE alrededor de 24 cm, cantidades muy distantes de los 44 cm., que puede desplazarse el aislador. Lo que significa que el aislador ante el sismo DBE va a trabajar en la segunda fase del modelo de Fenz y Constantinou (2007) en que el aislador interior del FPS de tercera generación se desliza en una de las placas exteriores y que ante el sismo MCE va a trabajar en la tercera fase, que implica que el aislador interior se desliza en las dos placas exteriores del aislador pero en ningún caso se choca con los topes interiores.

Ante el sismo MCE el desplazamiento lateral máximo en la parte superior de la estructura se desplaza 38 cm., cantidad menor a las juntas de separación, que supera los 80 cm., considerados como separación mínima entre bloques. Se recuerda que entre los bloques 2 y 3 hay una separación de 3 m.

Las derivas de piso Γ son menores al 1% para el sismo MCE y al 0.5% para el sismo DBE, con esto se garantiza un buen comportamiento de los elementos no estructurales. Ante el sismo MCE muy probablemente se rompan los

vidrios pero es un sismo con período de retorno de 2475 años, vendría a ser un mega sismo.

Los coeficientes sísmicos son aceptables 0.11 para el sismo DBE y 0.17 para el sismo MCE.

Las aceleraciones de los pisos A_p son bajas. Por consiguiente el daño en componentes no estructurales es mínimo.

Tabla 3 Respuestas máximas probables en Bloque Estructural 3

	Piso	DBE		MCE	
		Sismo X	Sismo Y	Sismo X	Sismo Y
q (cm)					
	Aislador	12.7	12.6	23.7	23.42
	1	2.22	2.21	3.79	3.81
	2	4.22	4.20	7.23	7.27
	3	6.12	6.07	10.36	10.41
	4	7.52	7.48	12.57	12.66
	5	6.46	8.01	7.81	13.64
Γ (%)					
	1	0.45	0.45	0.77	0.77
	2	0.41	0.40	0.70	0.70
	3	0.38	0.38	0.63	0.63
	4	0.28	0.29	0.45	0.46
	5	0.22	0.11	0.96	0.20
F (Ton.)					
	Aislador	56.43	56.63	81.24	82.80
	1	46.29	46.28	69.23	70.37
	2	38.09	37.94	60.19	61.09
	3	43.51	43.02	68.13	68.72
	4	57.38	56.93	85.41	86.34
	5	13.44	15.38	19.03	22.55
V_o (T)					
		255.15	256.10	383.22	391.87
c					
		0.112	0.112	0.168	0.171
A_p ($\frac{m}{s^2}$)					
	Aislador	0.98	0.98	1.42	1.44
	1	0.80	0.81	1.23	1.26
	2	0.69	0.68	1.13	1.14
	3	0.77	0.75	1.25	1.25
	4	1.01	0.99	1.52	1.53
	5	1.04	1.21	1.47	1.81

5. DETALLES CONSTRUCTIVOS Y CARGAS

La estructura se halla en suelo tipo C de acuerdo a la clasificación del NEC-15 por lo que se decidió tener plintos de cimentación, los mismos que se indican en la figura 8. De cada plinto sobresale un pedestal de hormigón armado de 80/80 cm, que sobresale del nivel del suelo 15 cm; en la parte superior del pedestal se tiene una placa de 3 cm., de espesor sobre la que se asienta el aislador.

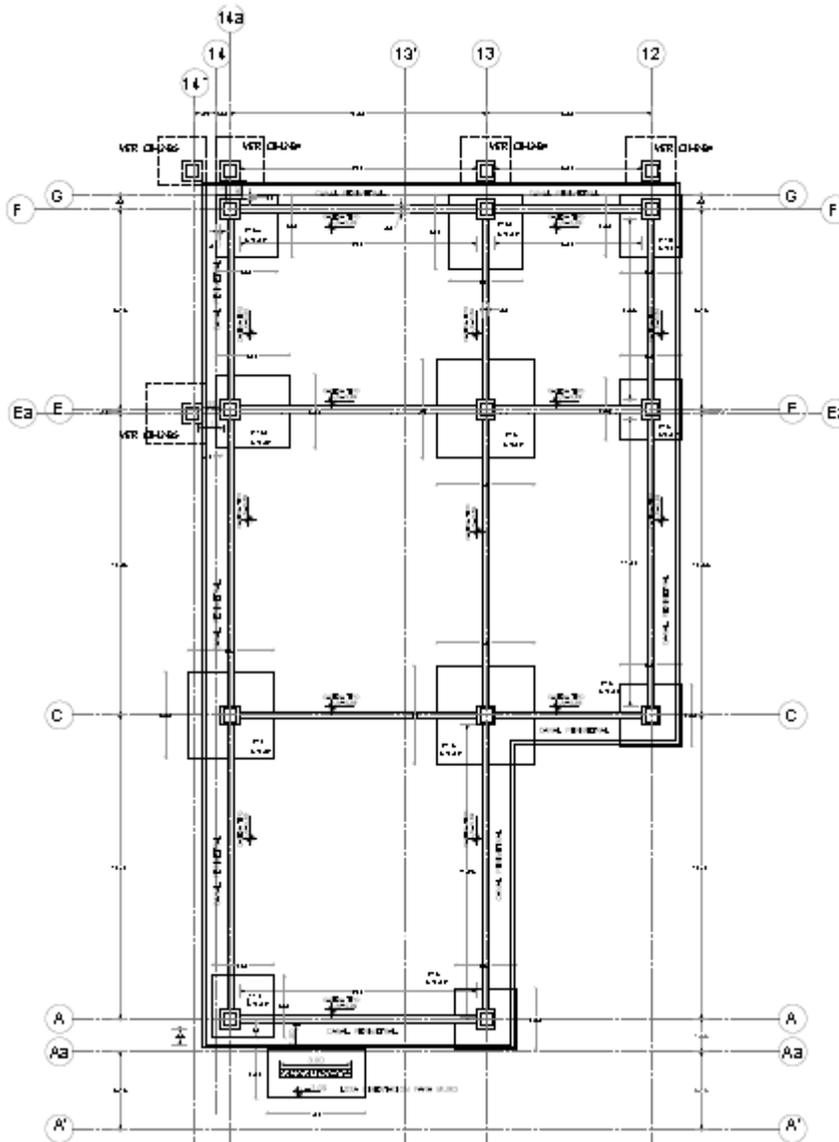


Figura 8 Plintos y cadenas del Bloque Estructural 3.

Alrededor del edificio se tiene un canal o zanja perimetral que se indica en la figura 8 para garantizar el libre movimiento de los aisladores. Se ha visto que el Bloque Estructural 3, en la parte más alta se va a desplazar 38 cm, sin embargo se tiene que el ancho de las zanjas es mayor a esa cantidad.

En la parte inferior del Eje A, se tiene la escalera de emergencia que será construida en base a un muro central de hormigón armado. La separación entre la parte exterior de la escalera y el borde exterior de la fachada del Bloque 3 es de 1.0 m, con lo que se garantiza un muy buen comportamiento. La escalera con el muro de 30 cm, de espesor es muy rígida y se desplazará muy poco.

Se ha realizado el análisis sísmico en forma preliminar con un aislador FPS de la tercera generación de 75 por 75 cm y 30 cm, de alto y la curva de histéresis fue obtenida para una carga vertical de 270 T. Para el diseño final se debe tomar en cuenta las cargas que efectivamente llegan al aislador y son las indicadas en la tabla 4. Donde P_D es la carga muerta; P_L es la carga viva; P_{D+L} es la suma de la carga muerta más la carga viva.

Tabla 4 Cargas que llegan a los aisladores: Permanente y transitoria.

Ejes	P_D (T)	P_L (T)	P_{D+L} (T)	Similar
C14a	245.59	74.07	319.66	
C13	323.49	97.56	421.05	
E14a	220.87	69.88	290.75	
E13	384.68	119.15	503.83	
F13	173.23	52.97	226.30	
F14a	96.37	29.48	128.85	F12

Se piensa diseñar únicamente con dos tipos de aisladores, uno que tenga una capacidad de carga muerta de 300 T., y carga viva de 100 T., el otro aislador es para 150 T., de carga muerta y 50 T., de carga viva. Para algunos aisladores la carga estará en exceso y para otros será insuficiente. Pero no se puede tener un aislador para cada tipo de carga. A excepción del aislador del eje E13 se cubre perfectamente las otras cargas.

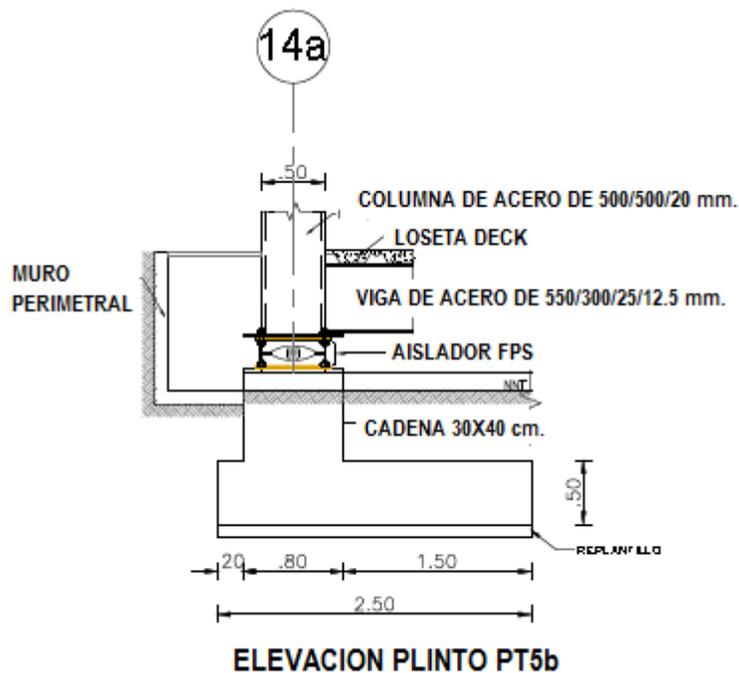


Figura 9 Detalle de la junta perimetral, colocación de aislador bajo la losa de aislación, columna de estructura y cadena.

Finalmente la figura 9, sirve para visualizar la colocación de los aisladores, se aprecia de abajo hacia arriba, el plinto de cimentación que tiene 50 cm, de altura; luego el pedestal de 80/80 de hormigón y las cadenas de 30/40 cm. En la parte superior del pedestal se encuentra el aislador FPS que va anclado al pedestal y a la columna de acero por medio de unas placas de acero, a la izquierda se tiene el muro perimetral y la zanja que tiene por objeto visualizar los aisladores, y tiene una tapa metálica que tiene un detalle muy especial indicado en los planos estructurales.

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado el Método de Superposición Modal, con el que se realiza el análisis sísmico del Bloque Estructural 3 de la UFA-ESPE, con aisladores sísmicos FPS de la tercera generación. En efecto se ha indicado con detalle el cálculo de la matriz de rigidez en coordenadas locales y globales del elemento aislador y se ha descrito algunos de los programas de **CEINCI-LAB** que se han utilizado.

Por otra parte el Bloque Estructural 3, que es irregular en planta y elevación tiene un buen desempeño ante los sismos DBE y MCE, con derivas de piso menores al 1%, con lo que se minimiza el daño en los elementos no estructurales y las aceleraciones de piso alrededor de 1 m/s^2 con lo que se precautela la integridad de los equipos y laboratorios.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al equipo de asistentes y dibujantes de las figuras presentadas en este artículo y de los planos estructurales respectivos, ellos son: Michael Rodríguez, Jorge Guama, Patricio Yacchirema y Ernesto Pozo Araujo.

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 Roberto (2014), *Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB*, Cuarta Edición. Instituto Panamericano de geografía e Historia, 676 p.
3. 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.
4. Aguiar R. (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
5. Aguiar R., Almazán L., Dechent P., Suárez V., (2008), *Aisladores de base elastoméricos y FPS*, Escuela Politécnica del Ejército ESPE, 292 p.
6. Bonifaz Hugo, (2015), *Informe de suelos. Edificio de Investigaciones*. Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM-ESPE, 33 p., Sangolquí.
7. Chopra A. K. (2001), *Dynamic of structures: Theory and aplicaciones to earthquake engineering*, 2nd. Prentice Hall: Saddle River New York.
8. 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.
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.