

## ANÁLISIS SÍSMICO DE BLOQUE ESTRUCTURAL 4 DE UFA-ESPE CON DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK BOZZO

### SEISMIC ANALYSIS FOR STRUCTURAL BLOCK 4 OF UFA-ESPE BUILDING USING SHEAR LINK BOZZO ENERGY DISSIPATORS

Roberto Aguiar<sup>(1)</sup>, Luis Bozzo<sup>(2)</sup>, Henry Coyago<sup>(1)</sup> y  
Cristina Andino<sup>(1)</sup>

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](mailto:rraguiar@espe.edu.ec)

<sup>(2)</sup>Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.  
<https://es-es.facebook.com/LuisBozzoSL/>  
[www.luisbozzo.com](http://www.luisbozzo.com)

#### RESUMEN

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército, está construyendo 8 bloques estructurales, donde funcionarán los Centros de Investigación y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en el Valle de los Chillos, en Ecuador.

En el Bloque Estructural 4 se colocarán disipadores de energía Shear Link Bozzo, **SLB** de la segunda generación, el mismo que se presenta en este artículo con el marco teórico respectivo, orientado al análisis sísmico espectral.

Se presenta con bastante detalle el análisis sísmico espacial, empleando el Método Espectral, considerando dos espectros: el de diseño **DBE** y el máximo considerado **MCE**

**Palabras Claves:** Disipador de Energía SLB. Método Espectral. Sismo de Diseño. Sismo Máximo Considerado.

## SUMMARY

The Army Corps of Engineers is building eight building blocks in the Valley of the Chillos in Ecuador. The building is for the Centers for Research and Post-Graduate studies of the University of ESPE Armed Forces.

In the structural block 4 there will be located energy dissipators called second generation "Shear Link Bozzo" or simply **SLB**. The theoretical framework for these devices oriented to seismic spectral analysis is presented in this article.

It is deeply studied the spatial seismic analysis using the spectral method and taking into account two spectra: the design **DBE** and the maximum considered **MCE**

**Keywords:** Shear Link Bozzo (SLB), Energy Dissipator, Damper, Spectral Method, Seismic input Design, Maximum Seismic input

### 1. DISIPADORES DE ENERGÍA

En las últimas décadas gran parte de las investigaciones que se han realizado sobre el comportamiento estructural de edificios en zonas sísmicas, se han enfocado al desarrollo de sistemas de control sismorresistente, tanto para el diseño antisísmico de construcciones nuevas como para la rehabilitación de edificios dañados por estos fenómenos. Esto como una alternativa al diseño sismorresistente convencional que se basa en los conceptos de ductilidad y redundancia estructural, que permiten reducir en forma significativa las fuerzas inducidas por un sismo severo. Bozzo y Barbat (1999)

Sin embargo, con la reducción de estas fuerzas se está aceptando que la estructura presentará daños cuando ocurra un sismo severo, dado que las fuerzas reales inducidas serán de mayor magnitud a las consideradas en el diseño. Por tanto la estructura trabajará en el rango no lineal con su plastificación total o parcial. Lo anterior, origina deformaciones permanentes, generándose habitualmente daños en los elementos estructurales y no estructurales (como muros divisorios de mampostería, falsos plafones, equipo mecánico, instalaciones, etc.), especialmente, para concreto armado, en estructuras flexibles y de baja ductilidad.

Los sistemas de control estructural a diferencia de lo anterior, concentran los daños que se puedan presentar por la acción de un sismo severo, en ciertos elementos o conexiones fabricados industrialmente en condiciones con altos índices de calidad y supervisión. Eventualmente, pueden ser re-emplazados y fáciles de inspeccionar. Por otra parte su fallo al ser dúctil no pone en peligro la seguridad global de las estructuras. **Por tanto el efecto del movimiento sísmico se desvía de la estructura a estos elementos diseñados especialmente para ello** y las vibraciones originadas por la acción del sismo, no dañan las edificaciones. Otro recurso utilizado por esta técnica, es el control con dispositivos mecánicos que ejercen fuerzas reactivas que contrarrestan la acción sísmica sobre las estructuras.

En el diseño del Bloque Estructural 4 se utilizó el disipador de energía Shear

Link Bozzo, SLB, que será analizado posteriormente con mayor detalle, pero es importante destacar que importantes obras se han construido en el mundo con este disipador, una de ellas es la Torre Paradox en Santa Fe, México que tiene 62 plantas y geometría extrema como se observa en la figura 1. Bozzo (2014).



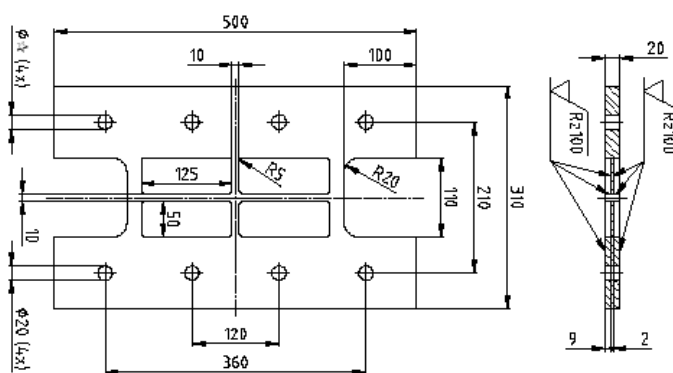
**Figura 1** Torre Paradox en Santa Fe, México con Disipadores SLB.

En la parte superior izquierda se presenta la Torre Paradox, durante su construcción; a la derecha se observa la torre de 62 plantas terminada. En estas

dos fotografías se aprecia que la completamente irregular en elevación. En la fotografía inferior de la figura 1, aparece el calculista estructural de la torre, delante de un contraviento tipo Chevron sobre el cual se encuentra el dissipador SLB.

## 2. DISIPADOR SLB DE SEGUNDA GENERACIÓN

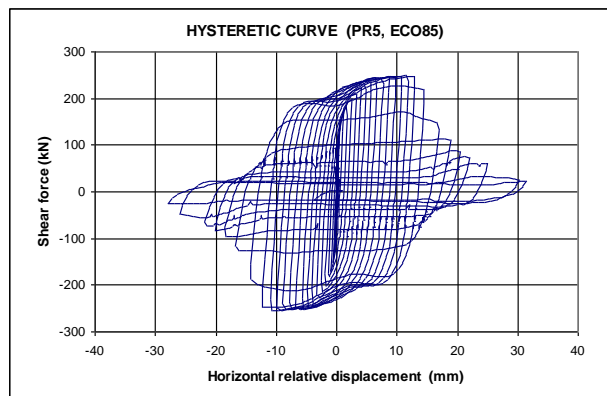
Hurtado y Bozzo (2008), desarrollaron la segunda generación del dissipador Shear-Link o **SLB** generalizando el dissipador para muros (primera generación) a un rango variable de fuerzas de plastificación entre 14 y 435 kN. Este dispositivo está fabricado de acero pero tiene la forma de un perfil metálico vertical con rigidizadores horizontales. El ancho varía según cada dispositivo y, por ejemplo el SL30\_2 tiene un ancho en la zona disipativa de 300mm, tal como se muestra en la figura 2. En este trabajo se desarrollaron modelos numéricos con el programa ANSYS y se calibraron sus resultados con los experimentales del dispositivo SL30\_2 para posteriormente generar tablas de diseño para 24 dispositivos, los cuales al poder combinarse entre sí proporcionan un enorme rango de valores de diseño. Estos dispositivos se han empleado en numerosos proyectos tales como: mega planta Lindley (250 unidades); Facultad de Odontología de USMP en Lima, Perú (20 unidades); edificio Monterosa en Perú (16 unidades); Torre de 62 pisos Paradox (indicado en la figura 1 con 250 unidades); Torre de 30 plantas en Acapulco (6 unidades), Proyecto Urbania (120 unidades) y Proyecto Ixtapa en México (160 unidades). Se han fabricado e instalado más de 1000 dispositivos hasta la fecha (2015) todos fabricados en el Perú por la empresa Postensa SAC, bajo un estricto control de calidad y con ensayos experimentales de calibración en la Universidad Católica.



(a) Dissipador SLB 30\_2



(b) Disipador antes del ensayo.



(c) Diagrama de histéresis de disipador SLB 30\_2

**Figura 2** Disipador SLB de segunda generación. (a) Geometría del dispositivo SL30\_2. (b) Ensayo en el laboratorio de Ismes en Bergamo, Italia y (c) curva experimental para este dispositivo.

En el marco teórico que se presenta a continuación, se considera que el diagrama de histéresis es bilineal.

### 3. MARCO TEÓRICO DE DISIPADOR SLB

En la figura 3 se presenta la nomenclatura y dimensiones de un disipadores de energía tipo Shear Link, **SLB**, a emplear en la construcción del Bloque Estructural 4, de circulación, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Está compuesto por cuatro ventanas de 2 mm, de espesor y un marco cuadrado de 2 cm, de sección transversal, la parte exterior con orificios sirve para la colocación sobre los contravientos tipo Chevron que tiene la estructura, como se verá posteriormente en la parte horizontal de estos contravientos se colocarán 3 o 4 disipadores **SLB**.

El marco de disipadores **SLB** presentado, trabaja como una columna que está empotrada en sus extremos, con rigidez  $k_r$  y las ventanas trabajan a flexión, con rigidez  $k_w$ ; como se observa en la figura 4.

$$k_r = \frac{72 EI}{h^3} \quad (1)$$

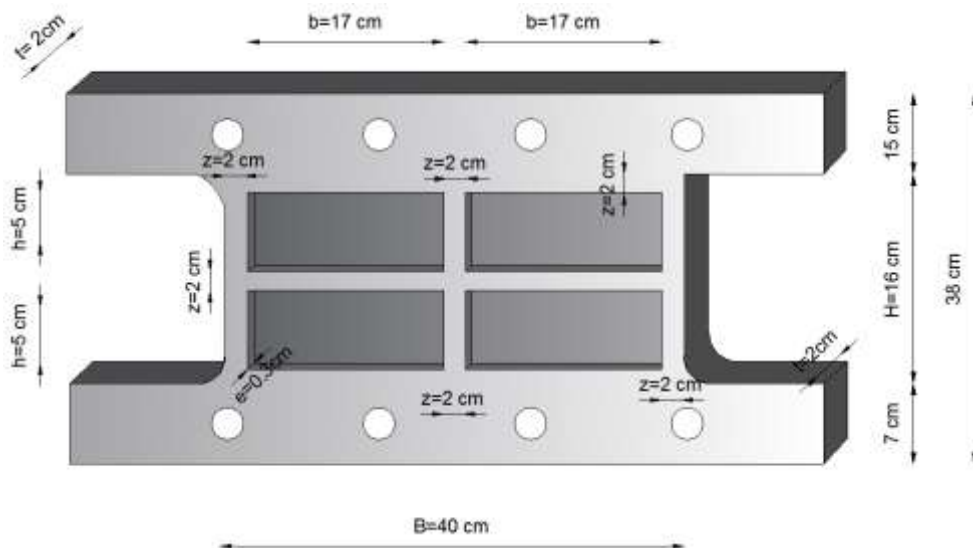
$$I = \frac{tz^3}{12} \quad (2)$$

Donde  $t, z$ , son las dimensiones de la sección transversal del marco;  $h$  es la altura de una ventana;  $E$  es el módulo de elasticidad del acero del **SLB**. La rigidez de las ventanas, se halla con la siguiente ecuación.

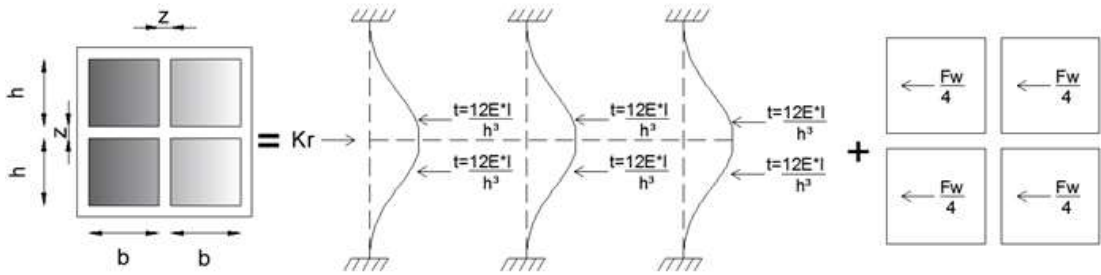
$$k_w = \frac{4 GA_w}{h} \quad (3)$$

$$A_w = be \quad (4)$$

Donde  $b, e$ , son la longitud y el espesor de una ventana;  $G$  es el módulo de corte del material.



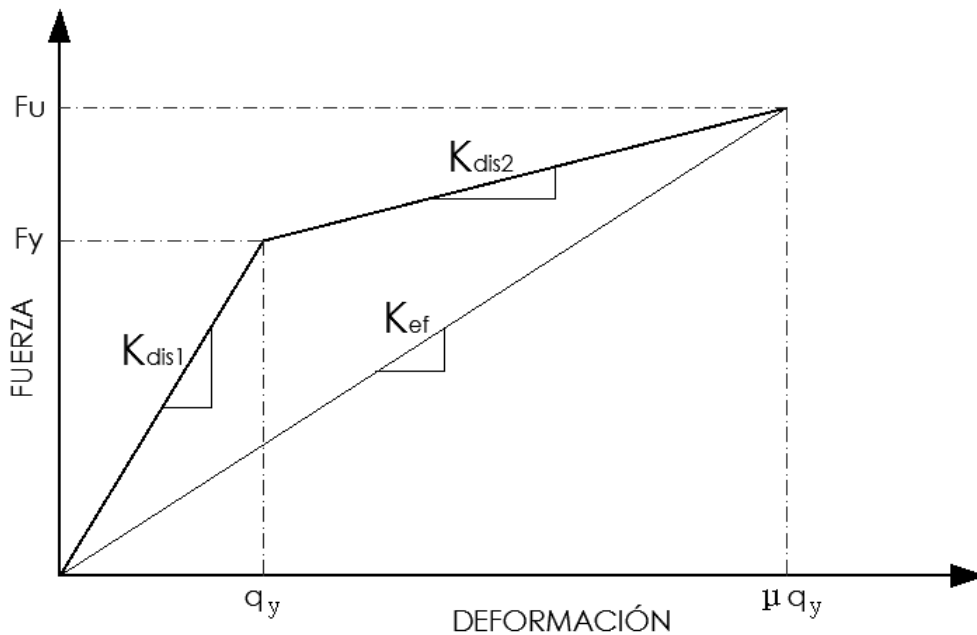
**Figura 3** Geometría de disipador de energía Shear Link Bozzo, a utilizar en el Proyecto, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.



**Figura 4** Rigidez de marco y a flexión de un disipador SL.

El desplazamiento lateral del marco es igual al de la ventana. Por lo tanto trabajan como dos resortes en paralelo, estos elementos. Por otro lado se puede considerar un modelo bilineal para el comportamiento fuerzas-deformación lateral, con una rigidez  $k_{dis1}$  para el rango elástico y  $k_{dis2}$  para el rango plástico.

En el rango elástico trabajan la ventana y el marco, mientras que en el rango plástico solo trabaja el marco.



**Figura 5** Diagrama de histéresis bilineal del disipador SL.

$$k_{dis1} = k_r + k_v \tag{5}$$

$$k_{dis2} = \alpha k_r \tag{6}$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente que relaciona la rigidez post fluencia con la elástica, se considera igual a 0.03. La fuerza de fluencia  $F_y$  es igual a la fuerza de la ventana  $F_w$  más la fuerza del marco  $F_r$ .

$$F_w = n\tau A_w \quad (7)$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y \quad (8)$$

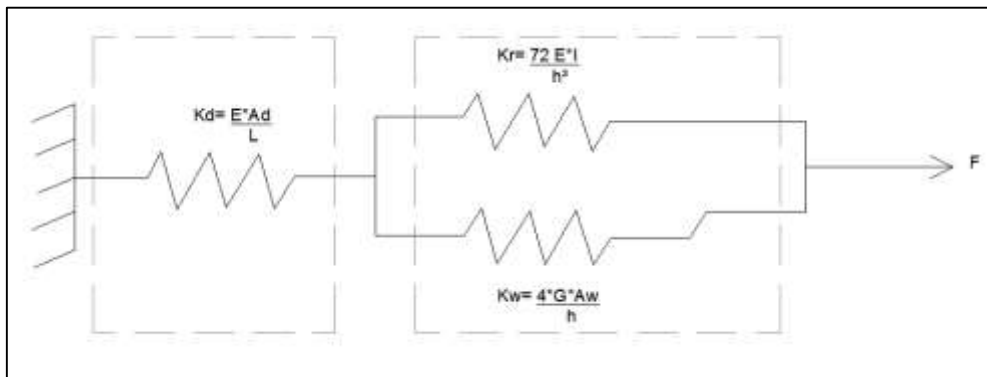
Donde  $n$  es el número de ventanas;  $\tau$  es el esfuerzo de corte;  $f_y$  es el esfuerzo de fluencia del material. Por otra parte el desplazamiento de fluencia  $q_y$  es igual a:

$$q_y = \frac{F_r}{k_r} = \frac{F_w}{k_w} \mapsto F_r = \frac{k_r}{k_w} F_w \quad (9)$$

Donde:

$$F_y = n\tau A_w + \frac{k_r}{k_w} F_w \quad (10)$$

Existen dos variables que no han sido definidas en la figura 5 y son la ductilidad del **SLB**, denominada  $\mu$ , y la rigidez efectiva  $k_{ef}$ . El análisis no lineal se puede realizar de dos formas, la primera trabajando con  $k_{dis1}$  y  $k_{dis2}$ , la segunda trabajando con  $k_{ef}$ . (Nuzzo *et al.* 2015).



**Figura 6** Modelo de rigideces de elemento: diagonal-disipador

Los disipadores **SL** se van a colocar sobre diagonales de acero, de tal manera que tienen una rigidez axial  $k_d$

$$k_d = \frac{E A_d}{L_d} \quad (11)$$

Donde  $A_d$  es el área de la sección transversal del perfil de la diagonal;  $L_d$



es la longitud de la diagonal. Sea  $k_{dis}$  la rigidez del aislador, que puede ser igual a  $k_{dis1}$  o  $k_{dis2}$ , dependiendo del nivel de desplazamiento, o puede ser  $k_{ef}$  si se decide trabajar con la rigidez secante.

En la figura 6 se presenta el modelo de cómo trabaja una diagonal con su disipador. Lo importante es notar que la rigidez de la ventana con la rigidez del marco trabaja en paralelo y que la rigidez del disipador con la rigidez de la diagonal trabaja en serie, para esta última parte se tiene:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_{dis}} \quad (12)$$

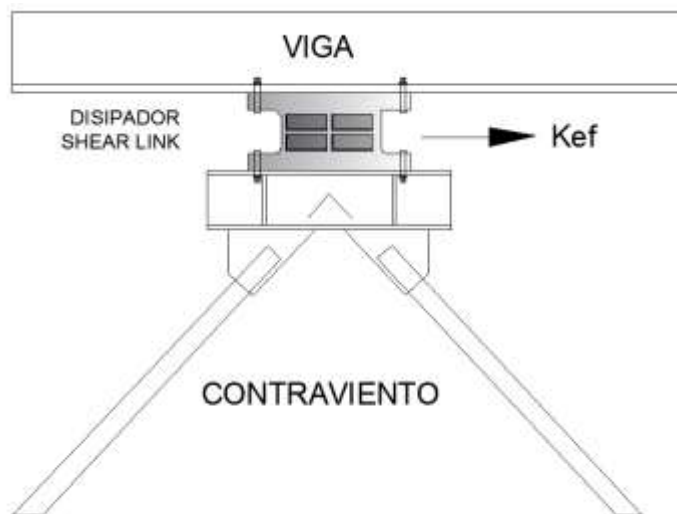
Siendo  $k_{eq}$  la rigidez equivalente del conjunto diagonal-disipador.

Ahora bien, se decide trabajar con la rigidez secante, por ese motivo en la figura 7 se presenta las diagonales y el disipador **SL**, con la rigidez horizontal  $k_{ef}$ . Es importante destacar que  $k_d$  es una rigidez axial y que  $k_{ef}$  es rigidez horizontal, por un lado y por otro que hay dos diagonales. Si se desea encontrar una rigidez equivalente del conjunto: diagonal-disipador, se debe dividir la rigidez  $k_{ef}$  para 2 para que cada diagonal comparta la mitad de la rigidez efectiva, como se presenta en la figura 8.

Para encontrar la rigidez equivalente, se debe encontrar la rigidez  $k_{ef}$  en la misma dirección de la diagonal, para ello se tiene:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_d} + \frac{2 \cos^2 \theta}{k_{ef}} \quad (13)$$

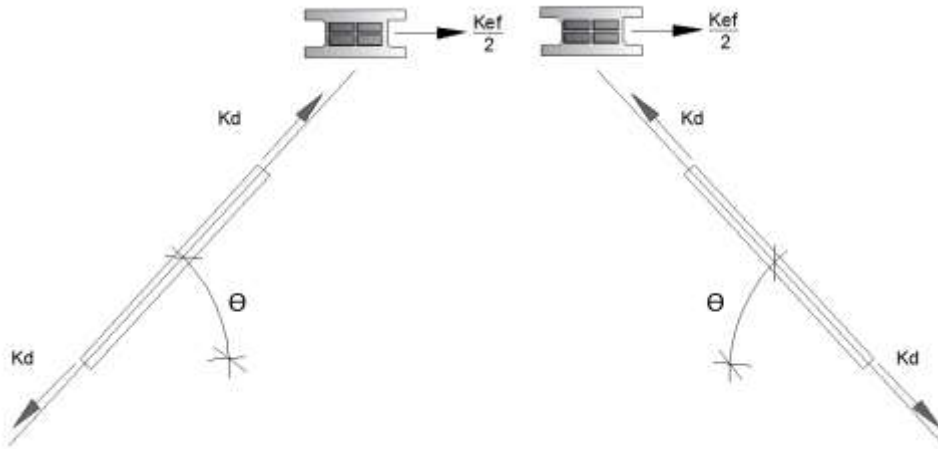
Siendo  $\theta$  el ángulo que forma la diagonal con el eje horizontal



**Figura 7** Diagonales de acero con disipador SL, que tiene rigidez  $k_{ef}$

Al despejar de la última ecuación  $k_{eq}$ , se tiene:

$$k_{eq} = \frac{k_d k_{ef}}{k_{ef} + 2 k_d \cos^2 \theta} \quad (14)$$



**Figura 8** Rigidez axial de diagonal y horizontal de dissipador.

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

En la figura 9 se presenta la parte arquitectónica del Bloque Estructural 4; la cubierta de este bloque es un domo conformado por una estructura metálica.

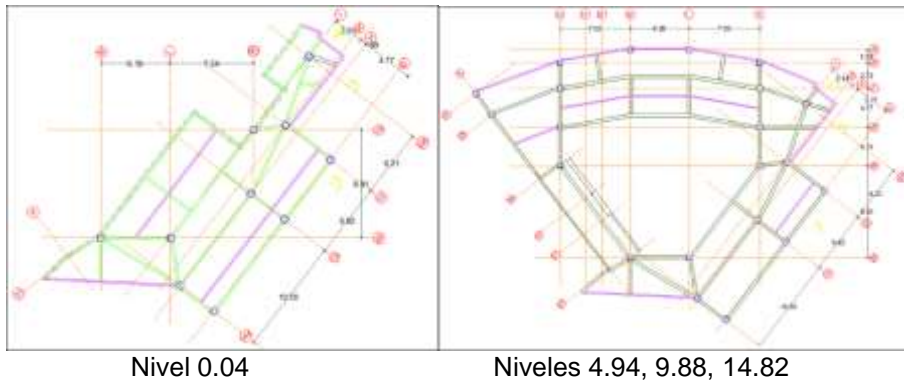
Por la parte lateral izquierda, de este bloque estructural se accede al bloque estructural 6, por la parte inferior al bloque estructural 5 que corresponde al auditorio y por la parte lateral derecha se tiene acceso a los bloques estructurales 3 y 2.



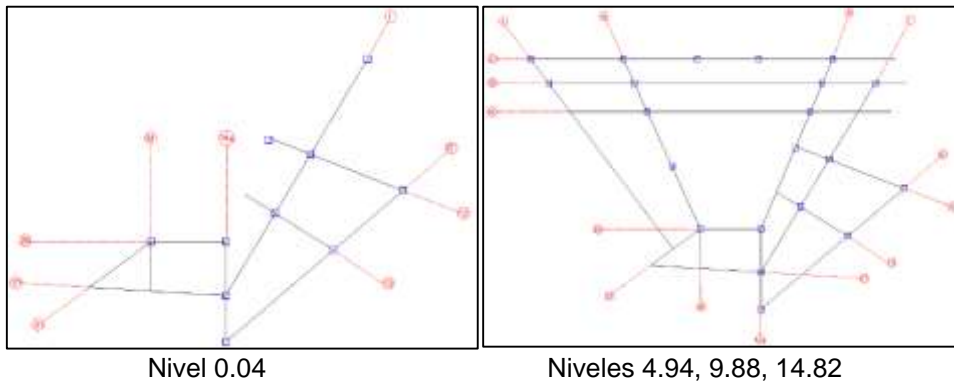
**Figura 9** Vista panorámica del Bloque Estructural 4 de Circulación.

En la figura 10a la izquierda se observa una losa correspondiente al nivel 0.04, por la parte inferior se tiene un subsuelo; a la derecha se aprecian las losas

de los niveles 4.94, 9.88 y 14.82.



**Figura 10** Losas del Bloque Estructural 4 de Circulación.



**Figura 11** Modelo numérico de cálculo adoptado.

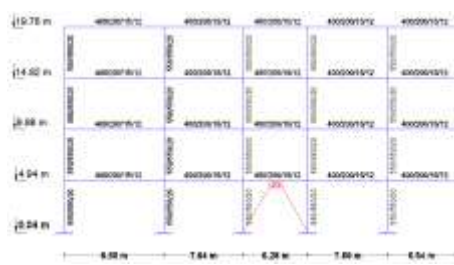
En la figura 10 se presenta la estructura tal como es. Ahora bien el modelo numérico adoptado, con el cual se realiza el análisis sísmico se indica en la figura 11, donde se aprecia que los pórticos son rectos, en realidad son curvos pero para el análisis se los considera rectos, manteniendo las longitudes.

En la figura 12 se presenta la geometría de cada uno de los pórticos estructurales considerados en el modelo de cálculo.

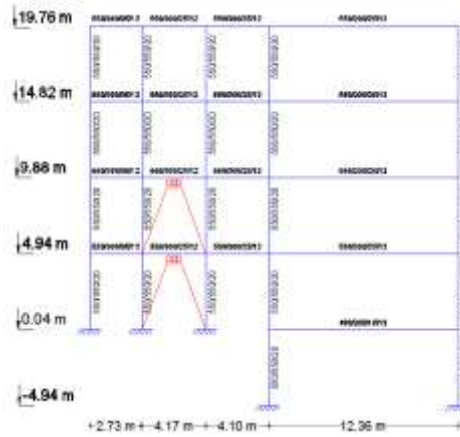
**PORTICO 35**



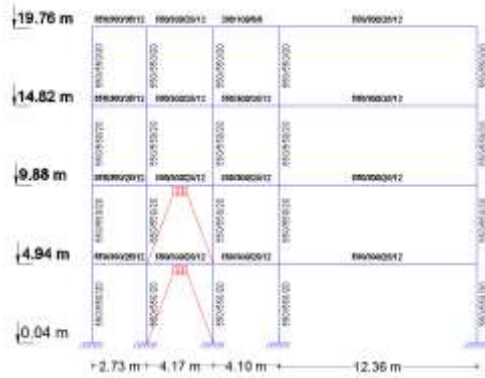
**PORTICO 34''**



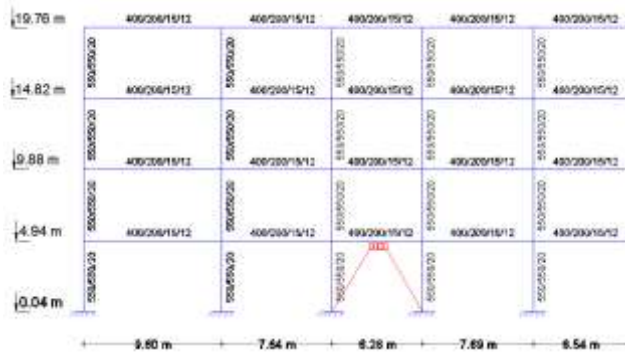
**PORTICO K**



**PORTICO N**



**PORTICO 37**



**PORTICO 20**



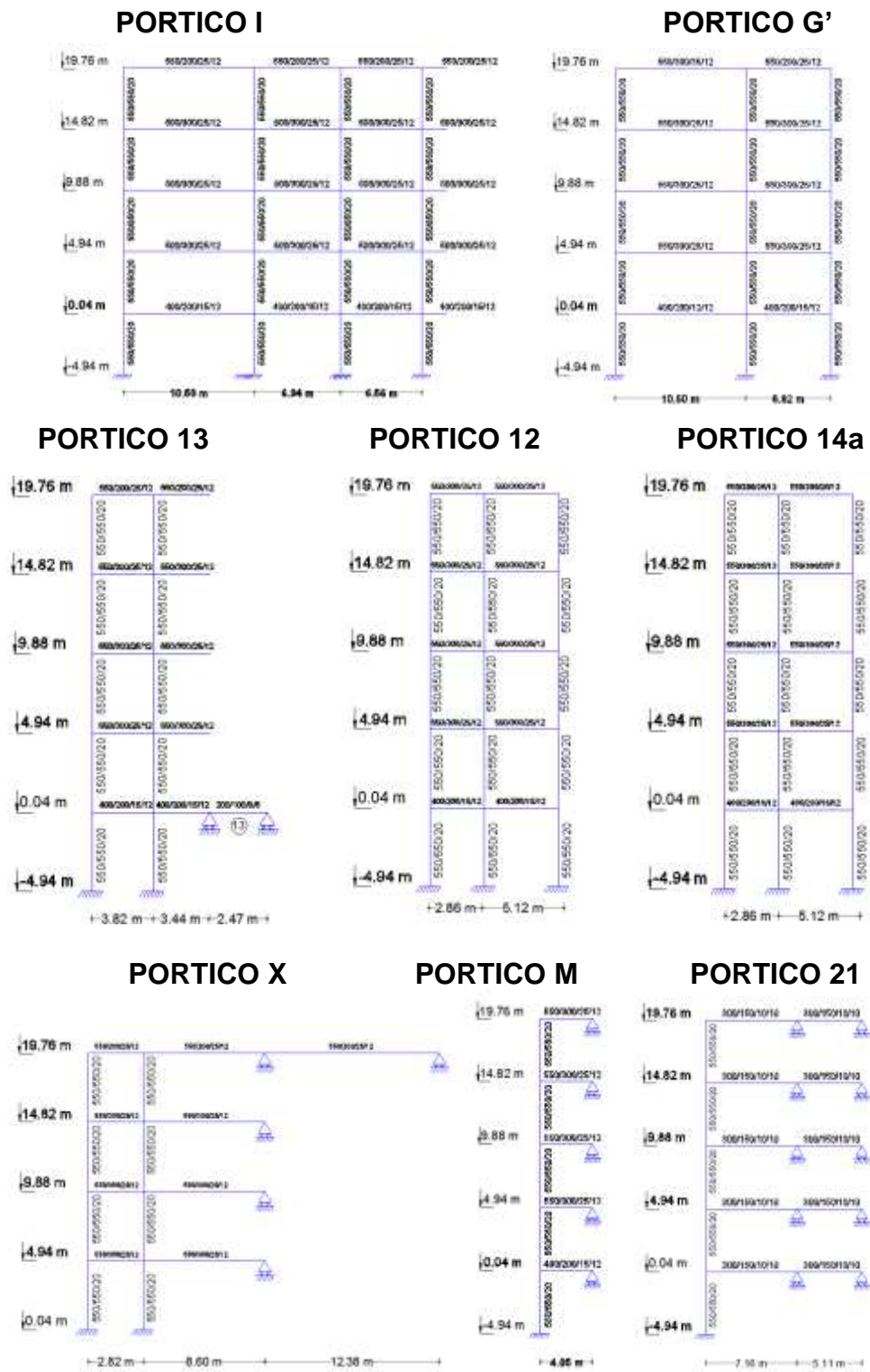
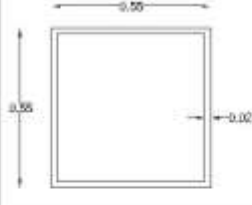
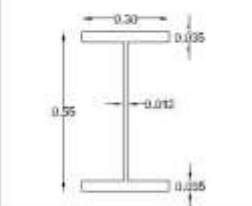
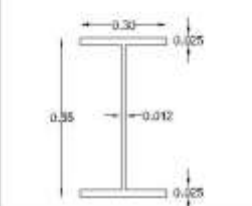
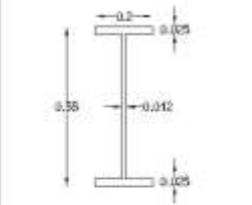
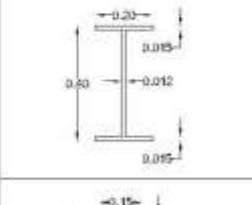
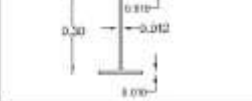


Figura 12 Pórticos del Bloque estructural 4.

## 5. SECCIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales son de acero, las columnas son tubulares cuadradas de 550/550/20 mm, las vigas son tipo "I" de diferente tamaño; las secciones con sus respectivas áreas y momentos de inercia se indican en la tabla 1. Las diagonales del contraviento son de la misma sección de las vigas.

**Tabla 1** Secciones de los elementos estructurales del Bloque 4.

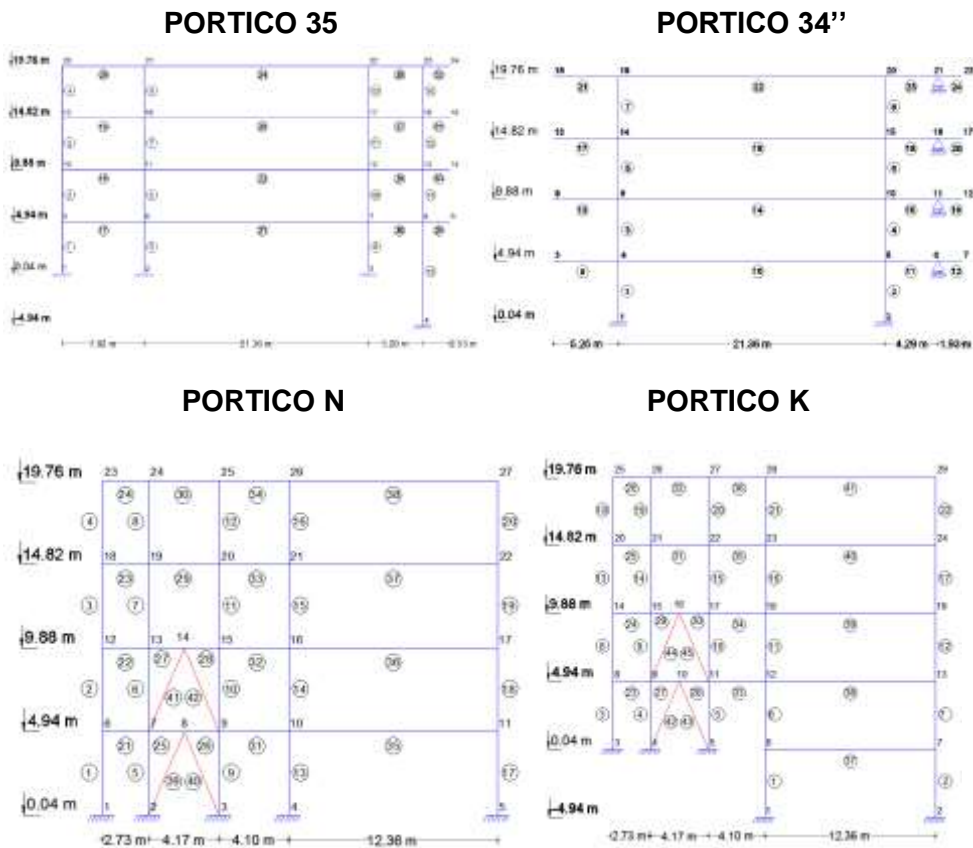
Sección	Área m <sup>2</sup>	Inercia m <sup>4</sup>
	0.0424	0.001987
	0.0268	0.001505
	0.0239	0.001336
	0.0169	0.000910
	0.0104	0.000273
	0.0064	0.000085

## 6. ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

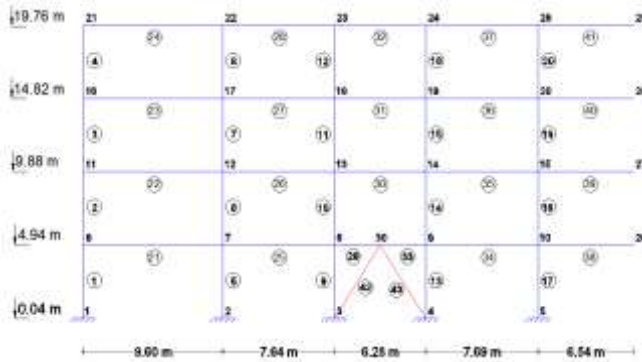
### 6.1 Matriz de rigidez lateral de los pórticos

El análisis sísmico se realizó utilizando el sistema de computación **CEINCI-LAB** (Aguiar 2012, 2014). Para ello se numeraron los nudos y elementos de cada uno de los pórticos, en la forma indicada en la figura 13.

Para la numeración de los nudos, primero se numeran los restringidos y luego todos los demás en cualquier orden. Para los elementos se debe numerar primero los de acero y al final los elementos diagonales correspondientes al contraviento, de esta manera se facilita el cálculo de la matriz de rigidez con todos los grados de libertad y posteriormente se condensa a las coordenadas laterales. Existen varias formas para la condensación a saber: i) mediante el cálculo de la inversa de una matriz; ii) mediante solución de ecuaciones lineales; y, iii) mediante la triangularización de la matriz de rigidez. (Aguiar, 2014).



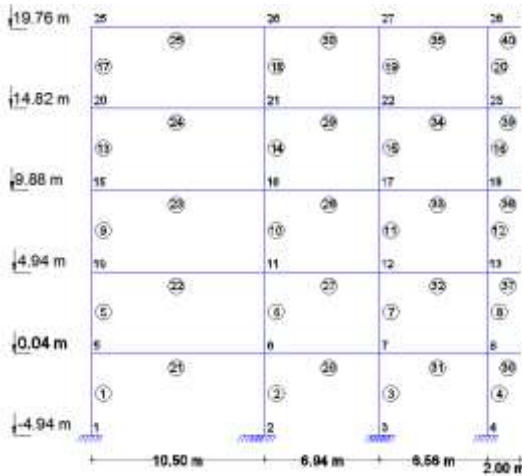
**PORTICO 37**



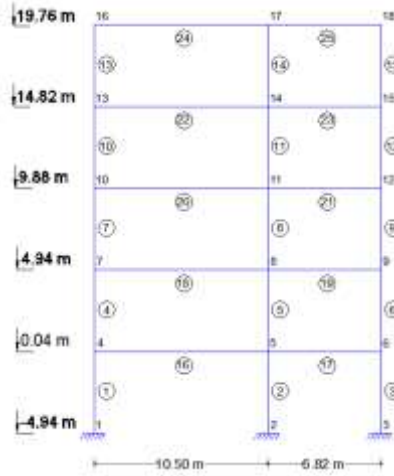
**PORTICO 20**



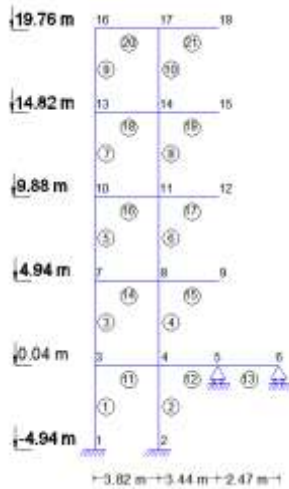
**PORTICO I**



**PORTICO G'**



**PORTICO 13**



**PORTICO 12**



**PORTICO 14a**





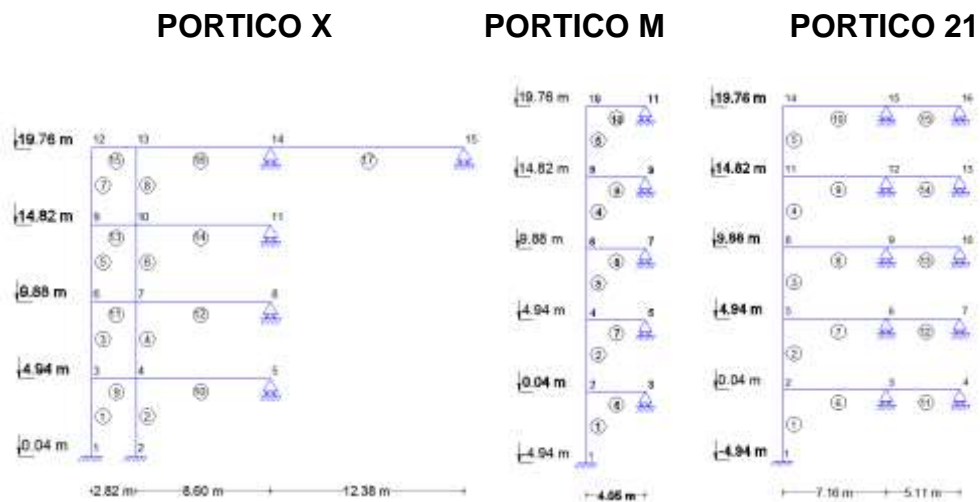


Figura 13 Pórticos del Bloque estructural 4.

## 6.2 Análisis sísmico en coordenadas de piso

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

$$K_E = \sum A^{(i)t} K_L^{(i)} A^{(i)} \quad (15)$$

Donde  $A^{(i)}$  es la matriz de compatibilidad del pórtico  $i$ , que relaciona las coordenadas laterales de los pórticos con las coordenadas de piso;  $K_L^{(i)}$  es la matriz de rigidez lateral del pórtico  $i$ .

Para poder sumar matrices en la ecuación (15), todas tienen que ser del mismo orden (las que se obtienen del triple producto matricial), para el caso del Bloque 4 los pórticos deben tener matriz de rigidez lateral de 5 por 5. Razón por la cual se consideró aumentar una fila de ceros a la matriz de rigidez lateral de los pórticos 34, 35, 37, K, N y X; tal como se puede apreciar en la ecuación (16), puesto que estos pórticos no tienen subsuelo, constan solamente de cuatro pisos a comparación de los pórticos restantes que son de cinco pisos.

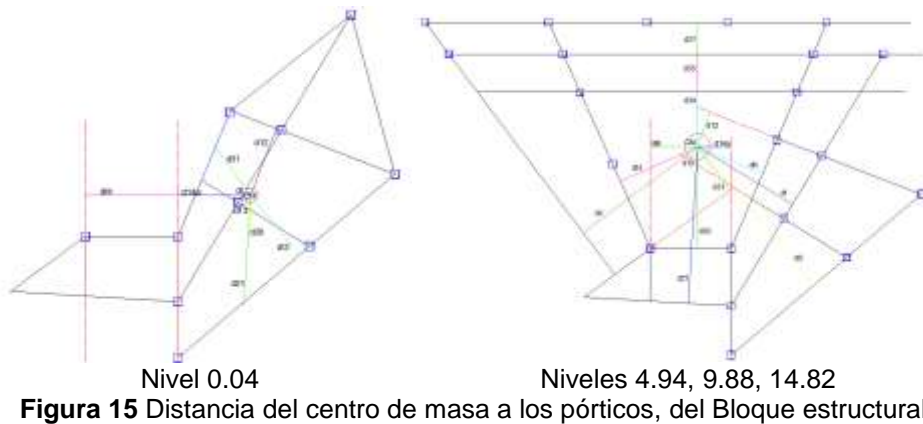
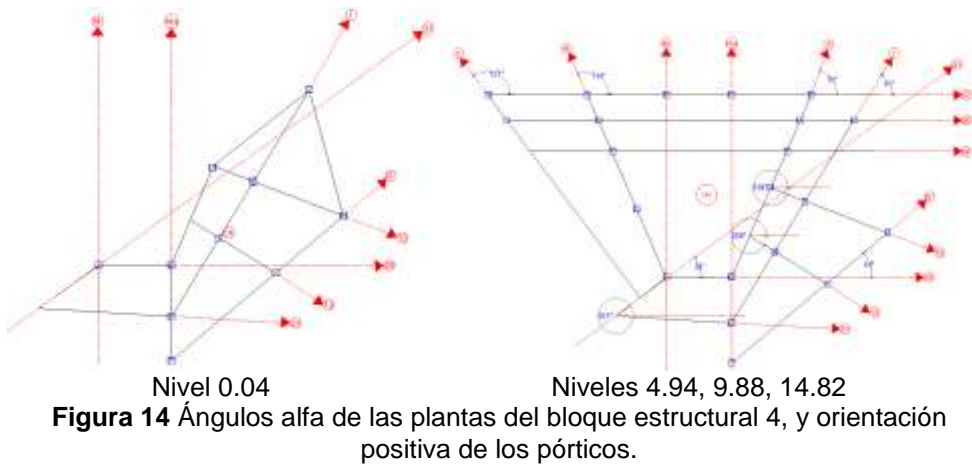
$$K_L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & & & \\ 0 & & K_L (4 \times 4) & & \\ 0 & & & & \\ 0 & & & & \end{bmatrix} \quad (16)$$

Se presenta en la figura 14 la estructura con la orientación positiva de los pórticos y los ángulos  $\alpha$ , que forma la orientación positiva con respecto al eje X.

Esto sirve para definir la matriz  $A$ , indicada en la ecuación (15) se considera que la rotación es positiva si la orientación positiva del pórtico rota con respecto al centro de masas en forma anti horaria. Los pórticos en sentido X son: 37,35,34',20,21,12,13 y los pórticos en sentido Y son: X,N,M,14,K,I,31,G.

En la figura 15 se muestra la estructura con las distancias de cada pórtico al centro de masas C.M.

En la tabla 2, se indica el ángulo  $\alpha$  y las distancias del centro de masa al pórtico en cada uno de los pisos, de cada pórtico. Con esta información y las matrices de rigidez lateral de cada uno de los pórticos, se utilizó el programa denominado **matriz\_es1** para hallar la matriz de rigidez en coordenadas de piso. La forma de uso de este programa al igual que el cálculo de las distancias del centro de masas a los pórticos inclinados, se indica en Aguiar *et al.* (2016).



**Tabla 2** Distancias de los pórticos al C.M

Pórtico	Angulo $\alpha$	Distancia al C.M (m)				
		Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
37	0	0	-9,62	-9,62	-9,62	-9,62
35	0	0	-7,17	-7,17	-7,17	-7,17
34'	0	0	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
20	0	2,8	7,9	7,9	7,9	7,9
21	357	7,49	12,16	12,16	12,16	12,16
12	339	-4,88	-2,83	-2,83	-2,83	-2,83
13	328	-0,85	-1,23	-1,23	-1,23	-1,23
X	127	0	-11,11	-11,11	-11,11	-11,11
N	114	0	-6,58	-6,58	-6,58	-6,58
M	90	-11,25	-3,66	-3,66	-3,66	-3,66
14 <sup>a</sup>	90	4,95	2,62	2,62	2,62	2,62
K	70	3,5	5,5	5,5	5,5	5,5
I	61	0,48	8,64	8,64	8,64	8,64
G	41	5,24	14,04	14,04	14,04	14,04

### 6.3 Matriz de Masas

Se consideró para subsuelos y pisos intermedios una carga muerta de 0.8 T/m<sup>2</sup> y una carga viva de 0.25 T/m<sup>2</sup>; a su vez se trabajó con la combinación de carga muerta más 25% de carga viva dando un valor de 0.8625 T/m<sup>2</sup>.

Para cubierta se consideró una carga de 0.3 T/m<sup>2</sup>; esto debido a que se tiene un domo como se puede apreciar en la figura 9.

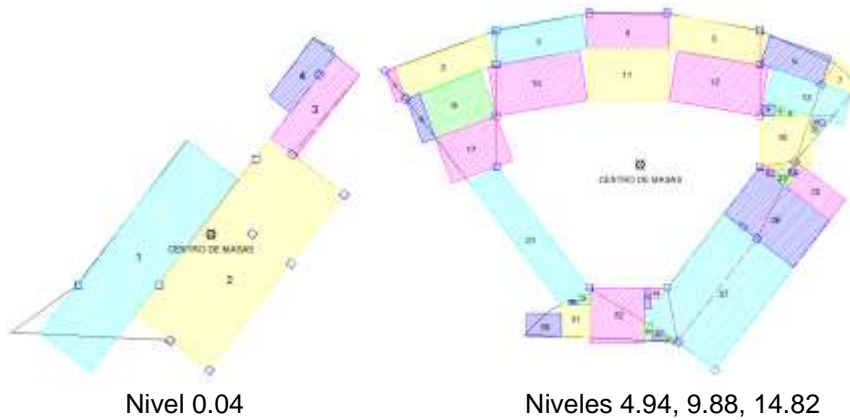
Debido a que se tiene una estructura de forma irregular, para el cálculo del momento de inercia de la masa  $J$  se dividió en secciones regulares las plantas de las losas, como se muestra en la figura 16. Para lo cual se calculó el centro de masas y las distancias del centro de masas al centro de cada figura, esto se lo hizo mediante el uso de AutoCAD, una vez obtenido estos datos se procedió al cálculo mediante las siguientes formulas.

$$J = \frac{m}{12}(a^2 + b^2) \quad (17)$$

$$J_{cm} = J + m \times d^2 \quad (18)$$

$$J_{piso} = \sum J_{cm} \quad (19)$$

Donde  $J$  es el momento de masas de cada figura,  $m$  es la masa de cada figura,  $a, b$ , son las dimensiones de cada figura.  $J_{cm}$ , es el momento de masas en el centro,  $d$  es la distancia del centro de masas hacia el centro de cada figura,  $J_{piso}$  es el momento de inercia de piso de la estructura.



**Figura 16** Figuras elementales para el cálculo del momento de inercia de la masa.  
En las tablas 3 a 5 se presenta el cálculo del momento de inercia de la masa  $J$  para: subsuelo, pisos intermedios y cubierta.

**Tabla 3** Cálculo de matriz  $J$  de subsuelo del bloque 4

Figura	Distancia (m)	A (m)	B (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Masa	J	Jcm
1	3.92	5.02	18.7	93.874	8.26187	258.1080	385.0632
2	2.75	7.25	17.38	126.005	11.08973	327.7263	411.5923
3	12.91	2.45	8.07	19.772	1.74009	10.3140	300.3321
4	14.28	2.1	5.75	12.075	1.06272	3.3186	220.0274
			$\Sigma$	251.726	22.15441	<b>J PISO</b>	1317.0150

**Tabla 4** Cálculo de matriz  $J$  de pisos intermedios del bloque 4

Figura	Distancia (m)	A (m)	B (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Masa	J	Jcm
1	20.86	0.78	2.67	2.083	0.18329	0.1182	79.8749
2	17.63	2.56	7.83	20.045	1.76415	9.9766	558.3033
3	12.96	2.8	7.46	20.888	1.83836	9.7267	318.5001
4	10.83	2.7	6.61	17.847	1.57072	6.6732	190.9010
5	11.9	2.78	7.49	20.822	1.83257	9.7475	269.2572
6	15.07	2.41	5.22	12.580	1.10719	3.0500	254.4973
7	17.72	2.1	2.5	5.250	0.46205	0.4105	145.4945
8	18.12	1.17	3.76	4.399	0.38717	0.5003	127.6230
9	15.52	3.8	5.25	19.950	1.75580	6.1457	429.0668
10	10.51	3.99	7.5	29.925	2.63371	15.8396	306.7589
11	7.37	4.21	6.61	27.828	2.44916	12.5348	145.5654
12	9.12	4.02	7.5	30.150	2.65351	16.0118	236.7157
13	14.64	2.64	6.61	17.450	1.53581	6.4839	335.6542

14	11.27	0.92	1.04	0.957	0.08421	0.0135	10.7091
15	12.09	0.66	0.83	0.548	0.04821	0.0045	7.0516
16	12.84	0.39	0.86	0.335	0.02952	0.0022	4.8688
17	13.5	3.84	5.25	20.160	1.77429	6.2556	329.6191
18	11.93	4.08	4.19	17.095	1.50455	4.2883	218.4235
19	14.79	0.53	1.06	0.562	0.04944	0.0058	10.8214
20	14.47	0.52	0.62	0.322	0.02837	0.0015	5.9426
21	11.05	2.56	12.22	31.283	2.75324	35.7651	371.9426
22	10.59	0.42	0.84	0.353	0.03105	0.0023	3.4845
23	11.68	1.06	1.35	1.431	0.12594	0.0309	17.2123
24	12.41	0.52	0.66	0.343	0.03021	0.0018	4.6536
25	14.41	2.1	4.36	9.156	0.80582	1.5727	168.9000
26	11.82	4.77	7.09	33.819	2.97644	18.1119	433.9580
27	11.88	7.1	10.51	74.621	6.56741	88.0417	1014.9290
28	12.36	0.35	0.73	0.256	0.02249	0.0012	3.4365
29	11.82	0.78	0.95	0.741	0.06522	0.0082	9.1196
30	14.98	1.84	2.38	4.379	0.38541	0.2907	86.7778
31	13.67	2.27	2.66	6.038	0.53142	0.5415	99.8480
32	12.2	4.43	4.49	19.891	1.75058	5.8039	266.3609
33	10.8	0.5	1.67	0.835	0.07349	0.0186	8.5903
34	10.41	0.69	0.79	0.545	0.04797	0.0044	5.2033
35	13.47	0.64	1.41	0.902	0.07942	0.0159	14.4260
36	13.85	0.77	0.85	0.655	0.05760	0.0063	11.0558
37	14.31	0.51	0.64	0.326	0.02873	0.0016	5.8841
$\Sigma$				454.771	40.02452	<b>J PISO</b>	6511.4308

Tabla 5. Cálculo de matriz J de cubierta del bloque4

Figura	Distancia (m)	A (m)	B (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Masa	J	Jcm
1	20.86	0.78	2.67	2.083	0.18329	0.1182	79.8749
2	17.63	2.56	7.83	20.045	1.76415	9.9766	558.3033
3	12.96	2.8	7.46	20.888	1.83836	9.7267	318.5001
4	10.83	2.7	6.61	17.847	1.57072	6.6732	190.9010
5	11.9	2.78	7.49	20.822	1.83257	9.7475	269.2572
6	15.07	2.41	5.22	12.580	1.10719	3.0500	254.4973
7	17.72	2.1	2.5	5.250	0.46205	0.4105	145.4945
8	18.12	1.17	3.76	4.399	0.38717	0.5003	127.6230
9	15.52	3.8	5.25	19.950	1.75580	6.1457	429.0668

10	10.51	3.99	7.5	29.925	2.63371	15.8396	306.7589
11	7.37	4.21	6.61	27.828	2.44916	12.5348	145.5654
12	9.12	4.02	7.5	30.150	2.65351	16.0118	236.7157
13	14.64	2.64	6.61	17.450	1.53581	6.4839	335.6542
14	11.27	0.92	1.04	0.957	0.08421	0.0135	10.7091
15	12.09	0.66	0.83	0.548	0.04821	0.0045	7.0516
16	12.84	0.39	0.86	0.335	0.02952	0.0022	4.8688
17	13.5	3.84	5.25	20.160	1.77429	6.2556	329.6191
18	11.93	4.08	4.19	17.095	1.50455	4.2883	218.4235
19	14.79	0.53	1.06	0.562	0.04944	0.0058	10.8214
20	14.47	0.52	0.62	0.322	0.02837	0.0015	5.9426
21	11.05	2.56	12.22	31.283	2.75324	35.7651	371.9426
22	10.59	0.42	0.84	0.353	0.03105	0.0023	3.4845
23	11.68	1.06	1.35	1.431	0.12594	0.0309	17.2123
24	12.41	0.52	0.66	0.343	0.03021	0.0018	4.6536
25	14.41	2.1	4.36	9.156	0.80582	1.5727	168.9000
26	11.82	4.77	7.09	33.819	2.97644	18.1119	433.9580
27	11.88	7.1	10.51	74.621	6.56741	88.0417	1014.9290
28	12.36	0.35	0.73	0.256	0.02249	0.0012	3.4365
29	11.82	0.78	0.95	0.741	0.06522	0.0082	9.1196
30	14.98	1.84	2.38	4.379	0.38541	0.2907	86.7778
31	13.67	2.27	2.66	6.038	0.53142	0.5415	99.8480
32	12.2	4.43	4.49	19.891	1.75058	5.8039	266.3609
33	10.8	0.5	1.67	0.835	0.07349	0.0186	8.5903
34	10.41	0.69	0.79	0.545	0.04797	0.0044	5.2033
35	13.47	0.64	1.41	0.902	0.07942	0.0159	14.4260
36	13.85	0.77	0.85	0.655	0.05760	0.0063	11.0558
37	14.31	0.51	0.64	0.326	0.02873	0.0016	5.8841
			$\Sigma$	454.771	40.02452	<b>J PISO</b>	6511.4308

La forma general de la matriz de masas  $M$  es la siguiente:

$$M = \begin{bmatrix} m & & \\ & m & \\ & & J \end{bmatrix} \quad (20)$$

Donde  $m$  es la sub matriz que contiene a la masa total de cada uno de los pisos;  $J$  es la sub matriz con los momentos de inercia de las masas de cada piso.

Con la matriz de rigidez y de masas en coordenadas de piso se encuentran las propiedades dinámicas de la estructura. El resto del análisis sísmico está

descrito con detalle en Aguiar (2012) y se indica en forma resumida en los siguientes apartados

## 7. ESPECTROS DE ANÁLISIS

El espectro de diseño **DBE** se obtiene de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-15, para la ciudad de Sangolquí ( $z = 0.4$ ) para un perfil tipo **C**. El espectro máximo considerado **MCE** se halla multiplicando el espectro de diseño por 1.4. (Constantinou *et al.* (2016).

Se consideró un factor de reducción de la fuerzas sísmicas  $R=2$  debido a que se tiene sobre resistencia; un factor de irregularidad en planta  $\phi_p = 0.9$  un factor de irregularidad en elevación  $\phi_e = 0.9$ . Por lo tanto, el espectro elástico se divide para  $R \phi_p \phi_e$ .

A más de ello el espectro se divide para el factor  $B$  que considera el amortiguamiento que se incrementa a la estructura por los disipadores de energía.

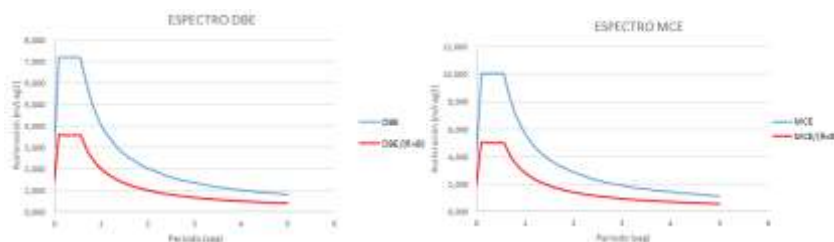
$$B = \left( \frac{\xi_{eq}}{0.05} \right)^{0.3} \quad (21)$$

El cálculo del factor de amortiguamiento equivalente  $\xi_{eq}$  para cada disipador **SLB** se realiza con la ecuación (22) que corresponde a un modelo de histéresis bilineal.

$$\xi_{eq} = \frac{2(\mu - 1)(1 - \alpha)}{\pi\mu(1 + \alpha\mu - \alpha)} \quad (22)$$

Donde  $\alpha$  es la relación entre la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica del disipador **SLB**,  $\mu$  es la ductilidad del disipador. El factor de amortiguamiento de cada disipador es  $\xi_{eq} = 0.0392$ . Con este valor se trabajó y corresponde al valor medio de los factores de amortiguamiento de cada disipador, ya que todos tienen la misma geometría. Con este valor se halla  $B = 0.9296$

En la figura 17 se presenta el espectro DBE en la izquierda y el espectro MCE en la parte derecha, tanto el elástico como el inelástico.



**Figura 17** Espectros **DBE** y **MCE** considerados en el análisis sísmico.

Con cada período de vibración  $T^{(i)}$ , se halló en el respectivo espectro inelástico el valor de la ordenada espectral  $A_d^{(i)}$ .

## 8. PROPIEDADES DINÁMICAS SIN DISIPADORES SHEAR LINK

El modelo de análisis sísmico tiene 15 grados de libertad (5 pisos por tres grados de libertad por piso). En consecuencia se tienen 15 modos de vibración e igual número de períodos de vibración, en la tabla 6 se indica el período y modos de vibración para los seis primeros modos de la estructura considerando que no tiene disipadores.

**Tabla 6.** Propiedades dinámicas

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
<b>Período</b>	0.8428	0.6938	0.2549	0.2198	0.1631	0.1382
<b>Modos De vibración</b>	0.0049	-0.0113	0.0196	-0.0425	0.0038	-0.1014
	0.0006	-0.0235	-0.0012	-0.0524	-0.0031	0.0013
	-0.0044	-0.0429	-0.0123	-0.0353	-0.0124	0.0149
	-0.0082	-0.0567	-0.0030	0.0240	-0.0017	-0.0079
	-0.0104	-0.0638	0.0100	0.0722	0.0217	-0.0066
	0.0023	-0.0152	0.0030	-0.0595	0.0979	-0.0163
	-0.0057	-0.0350	-0.0187	-0.0787	0.0087	0.0352
	-0.0199	-0.0641	-0.0291	-0.0523	-0.0222	0.0191
	-0.0316	-0.0856	0.0011	0.0360	-0.0037	-0.0193
	-0.0384	-0.0965	0.0373	0.1059	0.0363	0.0044
	0.0005	-0.0005	0.0030	0.0004	-0.0223	0.0056
	0.0026	-0.0015	0.0068	-0.0025	-0.0022	-0.0059
	0.0058	-0.0019	0.0066	-0.0002	0.0015	0.0031
	0.0083	-0.0021	-0.0023	0.0014	0.0011	0.0040
	0.0097	-0.0021	-0.0113	0.0017	-0.0031	-0.0103

## 9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SÍSMICO SIN DISIPADORES

Una vez que se tienen los períodos, modos y aceleraciones espectrales, en cada modo de vibración, resta por calcular los factores de participación modal  $\Gamma^{(i)}$ , los desplazamientos y fuerzas laterales en cada modo de vibración y aplicar el criterio de combinación modal **CQC** para hallar las respuestas máximas probables.

### 9.1 Sismo DBE en sentido X sin disipadores SLB

En la tabla 7 se presenta el factor de participación modal  $\Gamma$  en los 6 primeros modos de vibración y las respectivas aceleraciones espectrales  $A_d$  para el sismo **DBE**.

Ahora en la tabla 8 se indican los desplazamientos laterales  $q$  que se encuentran luego de aplicar el criterio de combinación modal **CQC**, las fuerzas



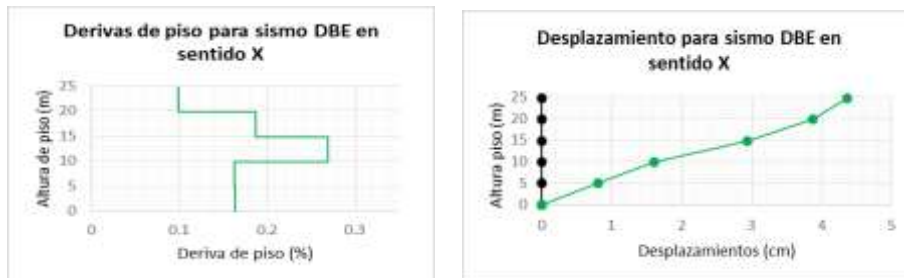
laterales en Centro de Masa y las aceleraciones de piso  $A_p$ . Se destaca que los desplazamientos de la estructura se hallan multiplicando los valores que reporta el análisis espectral por  $R \phi_p \phi_e$ .

**Tabla 7** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **DBE** en sentido X

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	0.5130	6.0681	0.0878	2.4852	0.3010	2.0040
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	4.6612	5.6620	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567

**Tabla 8** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **DBE** en sentido X

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	0.81	1.61	2.94	3.87	4.36
$F$ (T.)	124.9	183.9	306.8	213.8	88.9
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	4.7464	3.3953	6.6578	4.0790	4.8983



**Figura 18** Derivas y desplazamientos para sismo DBE en sentido X

## 9.2 Sismo MCE en sentido X sin disipadores SLB

Cuando se realiza el análisis sísmico con el espectro del sismo **MCE**, los factores de participación modal no cambian con respecto al análisis con el sismo **DBE**, lo que si cambia son las aceleraciones espectrales, las mismas que se indican en la tabla 9.

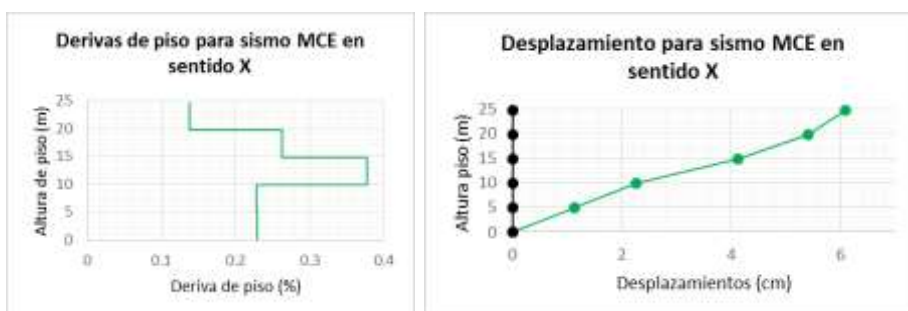
En la tabla 10 se indica información similar al de la tabla 8 pero para el sismo **MCE**. Los desplazamientos laterales son ligeramente mayores a los hallados con el sismo **DBE** pero siguen siendo bajos y estos conducen a tener derivas de piso bajas, las mismas que se indican en la figura 19 al igual que las derivas de piso.

**Tabla 9** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **MCE** en sentido X

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	0.5130	6.0681	0.0878	2.4852	0.3010	2.0040
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	6.5256	7.9268	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394

**Tabla 10** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **MCE** en sentido X

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	1.13	2.26	4.12	5.41	6.10
$F$ (T.)	174.9	257.4	429.5	299.3	124.4
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	6.6449	4.7535	9.3209	5.7106	6.8576

**Figura 19** Derivas y desplazamientos para sismo **MCE** en sentido X

### 9.3 Sismo DBE en sentido Y sin disipadores SLB

Los resultados para el sismo **DBE** se indican en las tablas 11 y 12; y en la figura 20 se presenta a la izquierda las derivas de piso encontradas y a la derecha los desplazamientos laterales en el Centro de Masa.

**Tabla 11** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **DBE** en sentido Y

$x$	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	2.7745	9.0716	1.2837	3.6471	1.9839	1.1025
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	4.6612	5.6620	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567

**Tabla 12** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **DBE** en sentido Y

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	1.14	2.40	4.41	5.84	6.59
$F$ (T.)	76.1	148.3	234.3	194.5	91.5
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	2.5393	2.6423	4.6713	3.7102	4.8091

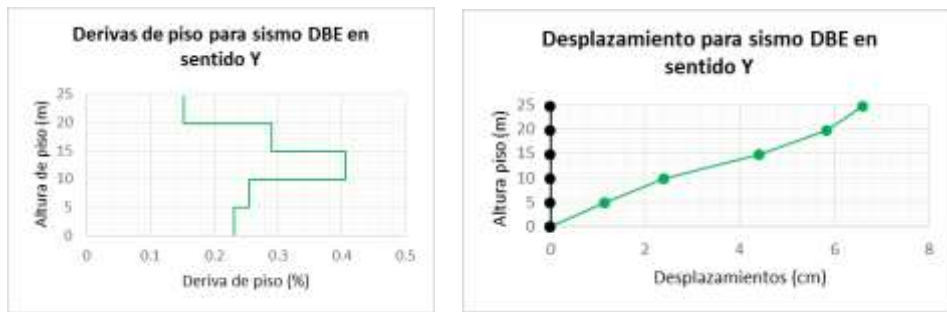


Figura 20 Derivas y desplazamientos para sismo DBE en sentido Y.

### 9.4 Sismo MCE en sentido Y

Los resultados para el sismo **MCE** se presentan en las tablas 13 y 14, y en la figura 21.

Tabla 13 Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **MCE** en sentido Y

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	2.7745	9.0716	1.2837	3.6471	1.9839	1.1025
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	6.5256	7.9268	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394

Tabla 14 Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **MCE** en sentido Y

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	1.60	3.36	6.17	8.18	9.23
$F$ (T.)	106.6	207.7	328.0	272.2	128.1
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	3.5550	3.6992	6.5398	5.1943	6.7328



Figura 21 Derivas y desplazamientos para sismo **MCE** en sentido Y

## 10. PROPIEDADES DINÁMICAS CON DISIPADORES SHEAR LINK

El modelo de análisis sísmico tiene 15 grados de libertad (5 pisos por tres grados de libertad por piso). En consecuencia se tienen 15 modos de vibración e igual número de períodos de vibración, en la tabla 15 se indica el período y modos de vibración para los seis primeros modos.

**Tabla 15.** Propiedades dinámicas

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
<b>Periodo</b>	0.6531	0.5086	0.2233	0.1918	0.1602	0.1280
<b>Modos De vibración</b>	-0.0073	-0.0127	-0.0300	-0.0521	-0.0292	-0.0963
	-0.0031	-0.0175	-0.0071	-0.0475	0.0042	-0.0077
	0.0025	-0.0388	0.0109	-0.0456	0.0151	0.0069
	0.0061	-0.0599	0.0079	0.0143	0.0025	-0.0113
	0.0089	-0.0724	-0.0032	0.0738	-0.0171	-0.0096
	-0.0009	-0.0102	-0.0027	-0.0522	-0.0965	0.0043
	0.0024	-0.0269	0.0094	-0.0694	-0.0030	0.0358
	0.0123	-0.0551	0.0274	-0.0684	0.0156	0.0406
	0.0282	-0.0904	0.0084	0.0218	0.0018	-0.0158
	0.0384	-0.1106	-0.0276	0.1095	-0.0270	-0.0033
	-0.0005	-0.0006	-0.0029	0.0003	0.0233	0.0016
	-0.0018	-0.0013	-0.0058	-0.0025	0.0014	-0.0058
	-0.0050	-0.0017	-0.0077	0.0002	-0.0008	0.0019
	-0.0086	-0.0018	0.0010	0.0014	-0.0008	0.0050
	-0.0109	-0.0017	0.0115	0.0004	0.0017	-0.0105

## 11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SÍSMICO CON DISIPADORES

Una vez que se tienen los períodos, modos y aceleraciones espectrales, en cada modo de vibración, resta por calcular los factores de participación modal  $\Gamma^{(i)}$ , los desplazamientos y fuerzas laterales en cada modo de vibración y aplicar el criterio de combinación modal CQC para hallar las respuestas máximas probables.

A continuación se presentan los resultados del análisis sísmico considerando que la estructura tiene disipadores Shear Link Bozzo

### 11.1 Sismo DBE en sentido X con disipadores SLB

En la tabla 16 se presenta el factor de participación modal  $\Gamma$  en los 6 primeros modos de vibración y las respectivas aceleraciones espectrales  $A_d$  para el sismo DBE.

Ahora en la tabla 17 se indican los desplazamientos laterales  $q$  que se encuentran luego de aplicar el criterio de combinación modal CQC, las fuerzas laterales en Centro de Masa y las aceleraciones de piso  $A_p$ . Se destaca que los desplazamientos de la estructura se hallan multiplicando los valores que reporta el análisis espectral por  $R \phi_p \phi_e$ .

**Tabla 16** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **DBE** en sentido X

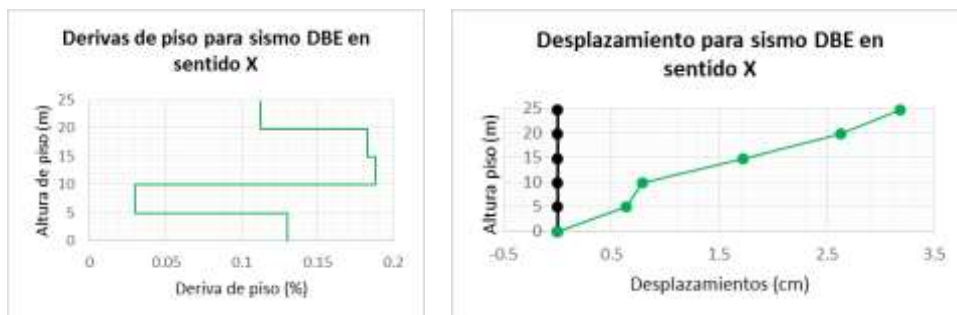
	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	0.1820	5.9374	0.2410	3.2799	0.0139	2.7509
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	6.0156	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567

**Tabla 17** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **DBE** en sentido X

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	0.64	0.79	1.72	2.63	3.18
$F$ (T.)	124.1	157.7	300.2	219.9	92.2
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	3.9881	2.7499	6.0788	4.1404	4.6513

Los desplazamientos laterales, encontrados para el sismo **DBE**, son bastante bajos con lo que se garantiza que la estructura no va a impactarse con los bloques estructurales 2, 3 y 6 que tienen aisladores sísmicos de triple péndulo. Claro está que se tienen juntas de construcción con estos bloques.

A la izquierda de la figura 22 se presenta las derivas de piso y se observa que la máxima deriva es menor a 0.2%, a la derecha se muestran los desplazamientos laterales, en el eje horizontal está el desplazamiento en centímetros y en el vertical la altura del edificio en metros.



**Figura 22** Derivas y desplazamientos para sismo DBE en sentido X

## 11.2 Sismo MCE en sentido X con disipadores SLB

Cuando se realiza el análisis sísmico con el espectro del sismo **MCE**, los factores de participación modal no cambian con respecto al análisis con el sismo **DBE**, lo que si cambia son las aceleraciones espectrales, las mismas que se indican en la tabla 18.

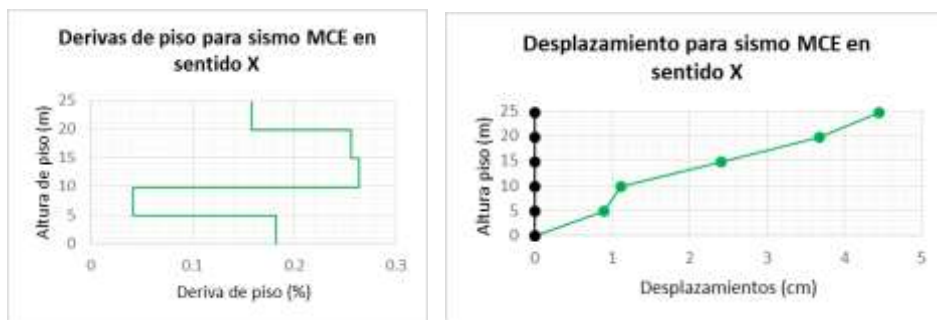
En la tabla 19 se indica información similar al de la tabla 17 pero para el sismo **MCE**. Los desplazamientos laterales son ligeramente mayores a los hallados con el sismo **DBE** pero siguen siendo bajos y estos conducen a tener derivas de piso bajas, las mismas que se indican en la figura 23 al igual que las derivas de piso.

**Tabla 18** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **MCE** en sentido X

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	0.1820	5.9374	0.2410	3.2799	0.0139	2.7509
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	8.4219	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394

**Tabla 19** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **MCE** en sentido X

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	0.90	1.11	2.41	3.68	4.45
$F$ (T.)	173.7	220.8	420.3	307.8	129.1
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	5.5834	3.8499	8.5103	5.7966	6.5119



**Figura 23** Derivas y desplazamientos para sismo **MCE** en sentido X

## 11.3 Sismo DBE en sentido Y con disipadores SLB

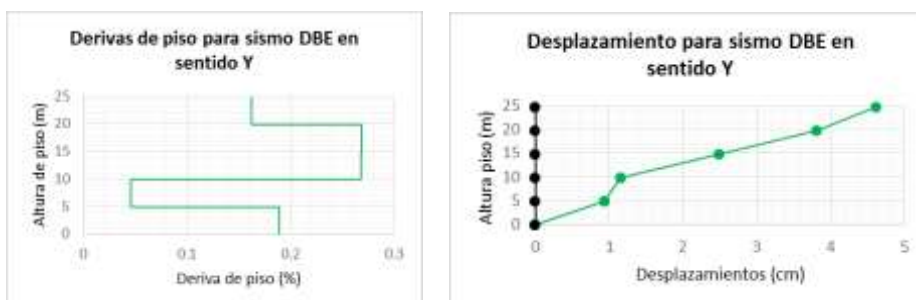
Los resultados para el sismo **DBE** se indican en las tablas 20 y 21; y en la figura 24 se presenta a la izquierda las derivas de piso encontradas y a la derecha los desplazamientos laterales en el Centro de Masa.

**Tabla 20** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **DBE** en sentido Y

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	2.2312	8.6683	1.3651	4.2741	1.9383	2.4746
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	6.0156	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567	6.9567

**Tabla 21** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **DBE** en sentido Y

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	0.94	1.16	2.48	3.81	4.61
$F$ (T.)	126.30	131.00	227.70	204.90	102.2
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	3.9978	2.3029	4.3065	4.0509	5.4685

**Figura 24** Derivas y desplazamientos para sismo DBE en sentido Y.

## 11.4 Sismo MCE en sentido Y con disipadores SLB

Los resultados para el sismo **MCE** se presentan en las tablas 22 y 23, y en la figura 25.

**Tabla 22** Factores de participación modal y aceleraciones espectrales para sismo **MCE** en sentido Y

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	Modo 6
$\Gamma$	2.2312	8.6683	1.3651	4.2741	1.9383	2.4746
$A_d$ (m/s <sup>2</sup> )	8.4219	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394	9.7394

**Tabla 23** Desplazamiento y aceleraciones de piso para sismo **MCE** en sentido Y

	Subsuelo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
$q$ (cm)	1.31	1.62	3.48	5.34	6.46
$F$ (T.)	176.80	183.40	318.80	286.90	143.10
$A_p$ (m/s <sup>2</sup> )	5.5970	3.2240	6.0291	5.6712	7.6558

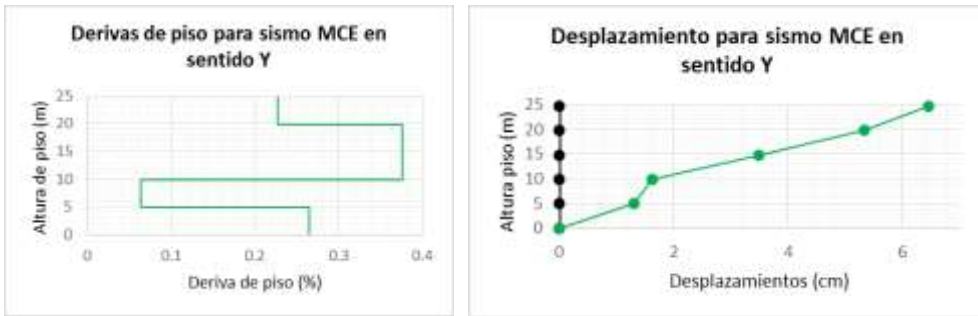


Figura 25 Derivas y desplazamientos para sismo MCE en sentido Y

## 12. COMPARACION CON ESTRUCTURA CON DISIPADORES SHEAR LINK

Se realizó el análisis sísmico espacial, en coordenadas de piso, del Bloque Estructural 4, se realizó el análisis sin disipadores Shear Link Bozzo y los resultados se compararon suponiendo que la estructura tenga disipadores, tanto para el sismo DBE como para el sismo MCE.

En la figura 26 se aprecian los resultados para cuando el sismo actúa en sentido X; la línea con naranja representa el comportamiento de la estructura con disipadores y la verde sin disipadores.

Se puede observar claramente que la estructura con disipadores presenta menores desplazamientos en comparación con la que no está con disipadores tanto para el sismo DBE y MCE.

En la figura 27, se compara el desempeño de la estructura en sentido Y, y se observa de igual forma que la estructura con disipadores presenta menores desplazamientos.

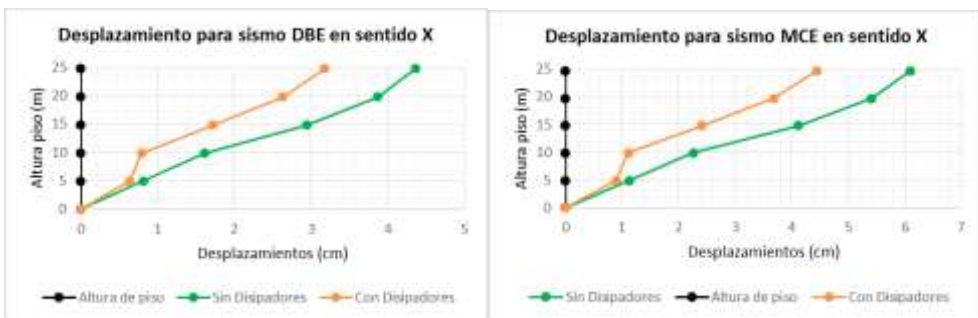
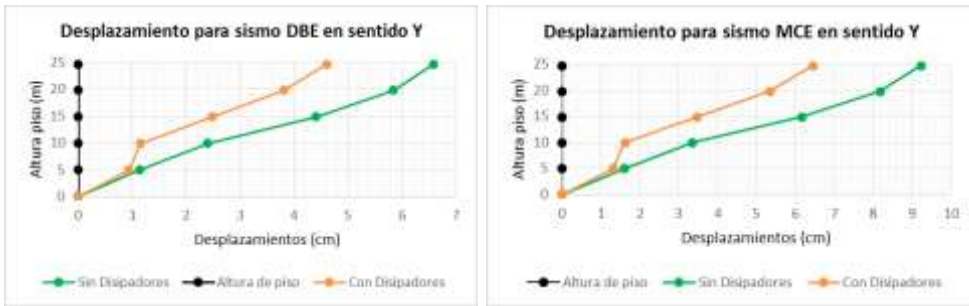


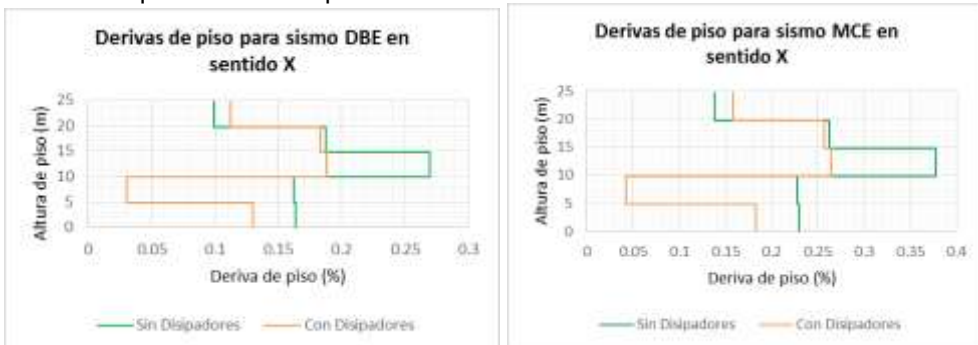
Figura 26 Comparación de desplazamientos laterales, para sismo actuando en sentido X. Considerando estructura sin y con disipadores Shear Link Bozzo.



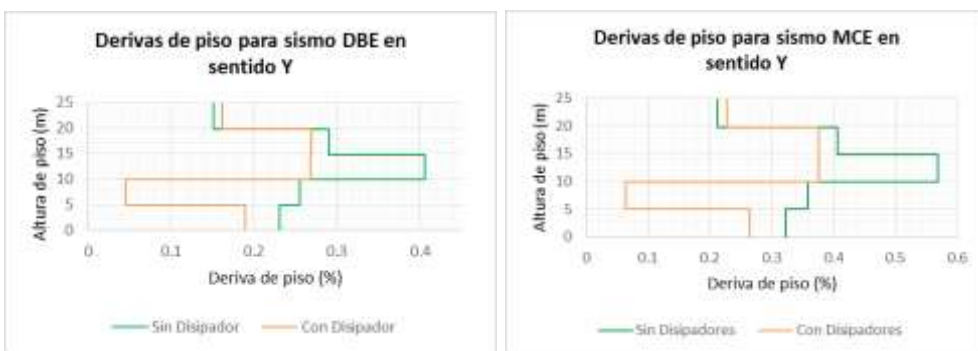


**Figura 27** Comparación de desplazamientos laterales, para sismo actuando en sentido Y. Considerando estructura sin y con disipadores Shear Link Bozzo.

En la figuras 28 y 29 se presenta la deriva de piso, evaluada en el Centro de Masa, sin disipadores y con disipadores. Se observa que en todos los casos tanto en el sentido X y Y para los dos sismos DBE y MCE los valores de la deriva de piso de la estructura que tiene disipadores son menores en comparación con la estructura que no tiene disipadores SLB.



**Figura 28** Comparación de derivas de piso, para sismo actuando en sentido X. Considerando estructura sin y con disipadores SLB.



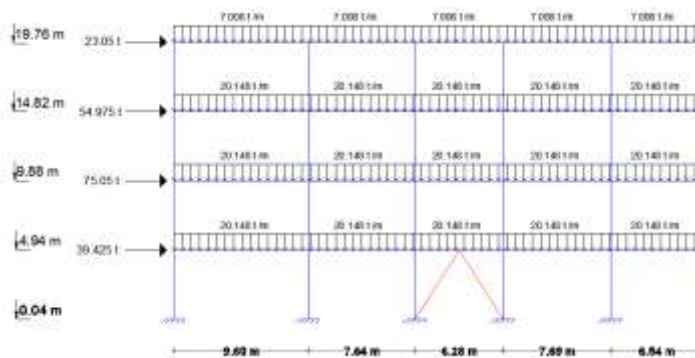
**Figura 29** Comparación de derivas de piso, para sismo actuando en sentido Y. Considerando estructura sin y con disipadores SLB.

### 13. ANÁLISIS ESTÁTICO PLANO

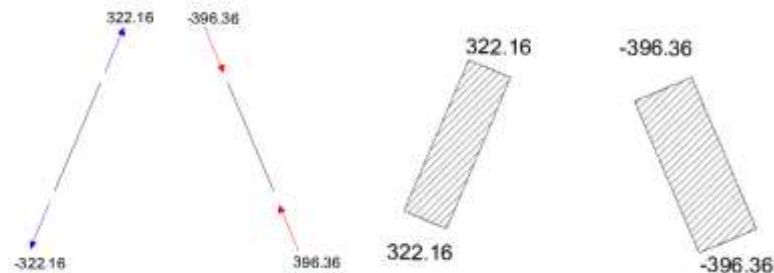
En este apartado se presenta el análisis estático plano de los pórticos que tienen SLB; para el análisis se ha tomado las fuerzas horizontales con el sismo de diseño **DBE** y sus respectivas cargas distribuidas verticales de cada piso.

Para los pórticos de los ejes: N y K se tomó las fuerzas del análisis con sismo **DBE en sentido Y**, mientras que para los pórticos 37 y 20 se analizó con las fuerzas horizontales del análisis con sismo **DBE en sentido X**.

En la figura 30 se presentan las cargas verticales y laterales que actúan en el Pórtico 37 y en la figura 31 las fuerzas que se generan en las diagonales, como era de esperarse una de ellas trabaja a tracción y la otra a compresión.



**Figura 30** Fuerzas horizontales y cargas verticales distribuidas del Pórtico 37.



**Figura 31** Fuerzas finales en Toneladas y diagramas de fuerza axial de elementos diagonales del Pórtico 37.

Con igual formato en las figuras 32 y 33 se presenta el estado de carga y las fuerzas en las diagonales de acero, en el Pórtico 20.

En las figuras 34 y 35 se presentan las cargas y resultados en las diagonales del Pórtico N. Finalmente en las figuras 36 y 37 se tiene lo propio pero para el Pórtico K.

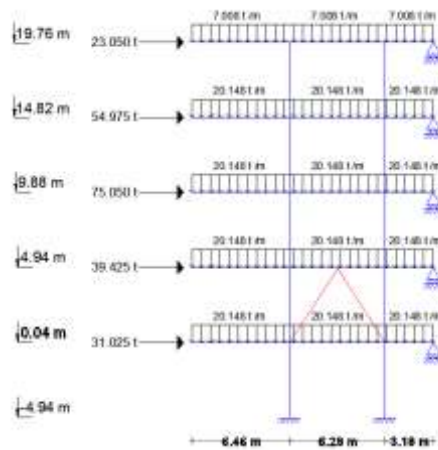


Figura 32 Fuerzas horizontales y cargas verticales distribuidas del Pórtico 20.

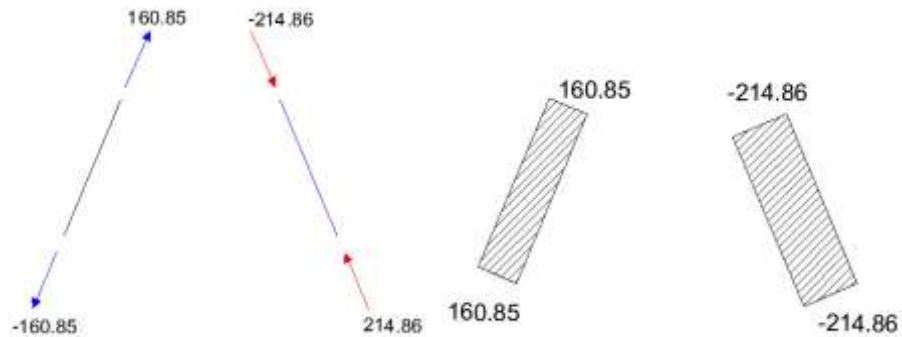


Figura 33 Fuerzas finales y diagramas de carga axial de elementos diagonales del Pórtico 20.

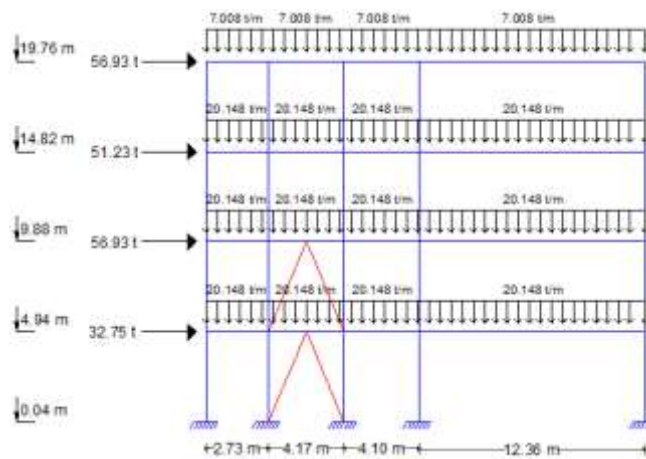
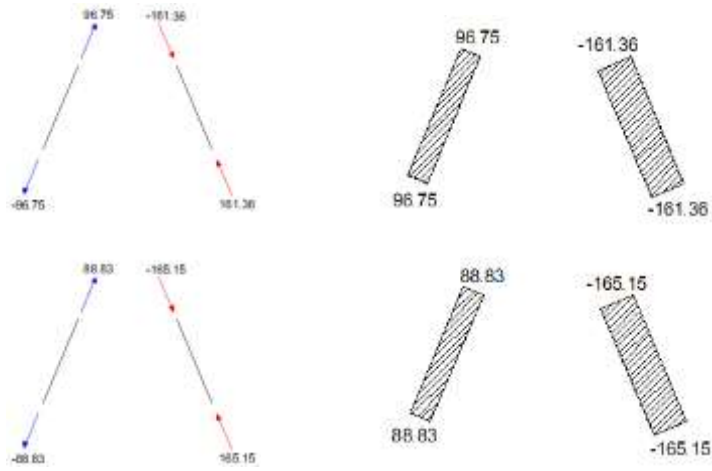
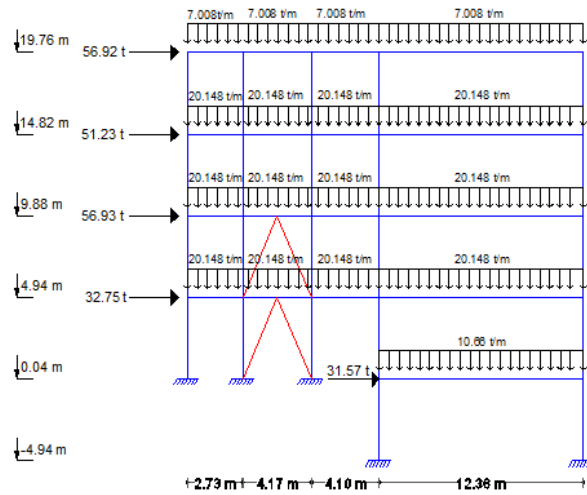


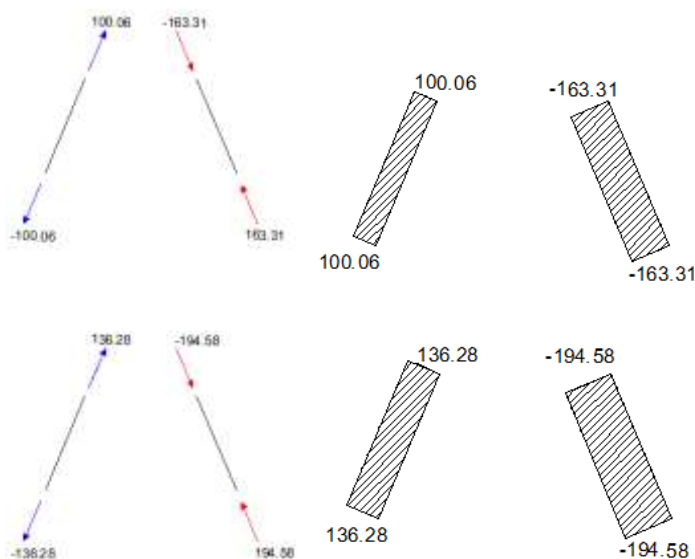
Figura 34 Fuerzas horizontales y cargas verticales distribuidas del Pórtico N.



**Figura 35** Fuerzas finales y diagramas de carga axial de elementos diagonales del **Pórtico N.**



**Figura 36** Fuerzas horizontales y cargas verticales distribuidas del **Pórtico K.**



**Figura 37** Reacciones finales y diagramas de carga axial de elementos diagonales del Pórtico K.

## 14. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se ha presentado en forma didáctica el marco teórico para el análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía Shear Link Bozzo, **SLB**, mediante el método espectral. Como aplicación se realizó el análisis del Bloque Estructural 4 que está actualmente en construcción, en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, ubicado en el Valle de los Chillos, en Ecuador.

El Bloque Estructural 4 es una estructura muy irregular en planta y elevación por lo que se decidió incorporar aisladores **SLB** para incrementar el amortiguamiento inherente que tiene la estructura, con esto se consiguió que las derivas de piso no sobrepasen el 0.25% tanto para el sismo **DBE** como para el sismo **MCE**.

Se aspira haber contribuido al desarrollo de la Ingeniería Sísmica, con el desarrollo de este artículo.

## REFERENCIAS

1. Aguiar Roberto, Mejía Rodrigo, Morales Edison, (2016), "Análisis sísmico espacial y plano de Bloque Estructural 8 de la UFA-ESPE con aisladores de Triple Péndulo de Fricción", *Revista Ciencia*, **18 (1)**, 93-121. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
2. Aguiar Roberto, (2014), *Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB*, Cuarta Edición. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, Ecuador, 676 p., Quito.

3. Aguiar R. (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
4. Bozzo Luis, (2014), *Boletín de Novedades-News Report*, Internet: [www.luisbozzo.com](http://www.luisbozzo.com).
5. Bozzo Luis y Barbat Alex, (1999), *Diseño sismorresistente en edificios. Técnicas Convencionales y avanzadas*, Editorial Reverte, Barcelona.
6. Constantinou M., Aguiar R., Morales E., Caiza P., (2016), "Desempeño de aislador FPT8833/12-12/8-5 en el análisis sísmico del Centro de Investigaciones y de Post Grado", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21, 1**, 1-25. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
7. Hurtado Francisco, Bozzo Luis, (2008), "Numerical and experimental analysis of a shear-link energy dissipator for seismic protection of building", *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, 8 p., Beijing, China.
8. Nuzzo Iolanda, Losanno Daniele, Serino Giorgio, Bozzo Luis, (2015), "A seismic-resistant Precast r.c. System equipped with Shear Link Dissipators for Residential Building", *International Journal of Civil and Structures Engineering, IJCSE*, **2 (1)**, 270-275.