

**ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES DE LA PRIMERA
FASE DEL PROYECTO DEDICADO A LA VINCULACIÓN
CON LA SOCIEDAD DE LA ESPE CAMPUS SANTO
DOMINGO INCORPORANDO MUROS DE CORTE Y
DISIPADORES SLB.**

**STRUCTURAL ALTERNATIVES OF THE FIRST PHASE
OF THE PROJECT DEVOTED TO THE RELATIONSHIP
WITH SOCIETY OF THE ESPE CAMPUS SANTO
DOMINGO INCORPORATING SHEAR WALLS AND
DISSIPATORS SLB.**

Roberto Aguiar

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

Henry Coyago

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n. Valle de los Chillos, Sangolquí, Ecuador

RESUMEN

Luego del terremoto del 16 de abril de 2016, que dejó 660 muertos y pérdidas económicas superiores a los 3200 millones de dólares, se vio la necesidad de cambiar los sistemas constructivos tradicionales e incorporar a las estructuras sistemas de control pasivo como es el caso de los disipadores de energía.

Para el nuevo campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicado en Santo Domingo, se tiene previsto construir tres Cuerpos Estructurales de un piso y dos Cuerpos de dos pisos. Todo esto forma parte de la primera fase del proyecto dedicado a la Vinculación con la Sociedad.

Para cada Cuerpo Estructural se presentan por lo menos dos alternativas, una de ellas corresponde a la forma tradicional sin disipadores de energía y la otra incluye los disipadores de energía, de esa manera se incorpora amortiguamiento a la estructura y por ende se tiene un mejor comportamiento sísmico.

En el diseño tradicional se presenta una solución muy novedosa desde el punto de vista estructural que consiste en tener dos sistemas resistentes, uno para

cargas verticales y otro para sismos. En este último la acción sísmica es resistida por muros de corte con losa maciza y vigas banda que pasan por un lado del muro para tener una articulación en la unión de la viga con el muro.

Palabras Claves: Sistema resistente a sismo. Sistema resistente a cargas verticales. Disipadores de Energía Shear Link.

ABSTRACT

After the earthquake of 16 April 2016, which left 660 dead and economic losses exceeding the 3200 million, was necessary to change the traditional construction systems and incorporate passive control systems such as is the case of the energy dissipators.

The new campus of the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, located in Santo Domingo, it is planned to construct three building blocks of a floor and two blocks of two floors. This is all part of the first phase of the project dedicated to the relationship with society.

Each Structural block presents two alternatives, one of them corresponds to the traditional way without energy dissipators and the other includes the energy dissipators, it incorporates cushioning to the structure and has a better seismic behavior.

The traditional design presents a solution very novel that is to have two systems resistant, one for vertical loads and another for earthquakes. In the latter the seismic action is resisted by shear walls with solid slab and beams band that pass through a side of the wall to have a joint in the union of the beam with the shear wall.

Key words: System resistant to earthquake. Rugged system to vertical loads. Shear Link Bozzo (SLB), Energy Dissipator.

1. INTRODUCCIÓN

El terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, que dejó gran daño en edificios de Bahía de Caráquez, Esmeraldas, Manta y Portoviejo; marcó un punto de partida para el nuevo diseño de estructuras en el Ecuador.

La población no comprende que se diseñan las estructuras esperando cierto grado de daño en los elementos no estructurales ante un terremoto como el del 16 de abril y tienen razón porque la rotura de paredes en forma explosiva causó heridos por el impacto de materiales y al quedar aberturas y rajaduras en las paredes tienen que desalojar sus viviendas e ir a otro sitio. (Aguiar y Del Castillo, 2016).

Si no admiten daño en mampostería quiere decir que un elemento estructural ingresa al rango no lineal. Por todo esto es que en las nuevas construcciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de Santo Domingo se van a diseñar para que trabajen en el rango elástico; con paredes livianas y

flexibles.

En este artículo se presentan varias alternativas estructurales para la fase I, del Proyecto de Vinculación con la Sociedad de Santo Domingo, que se presenta en la figura 1, destacando que el Cuerpo Estructural I ZE es con aisladores sísmicos y no va a ser tratado en este artículo; en los restantes Bloques Estructurales se incorporan disipadores de energía Shear Link Bozzo debido a que presentan menores desplazamientos laterales que en las estructuras sin disipadores.

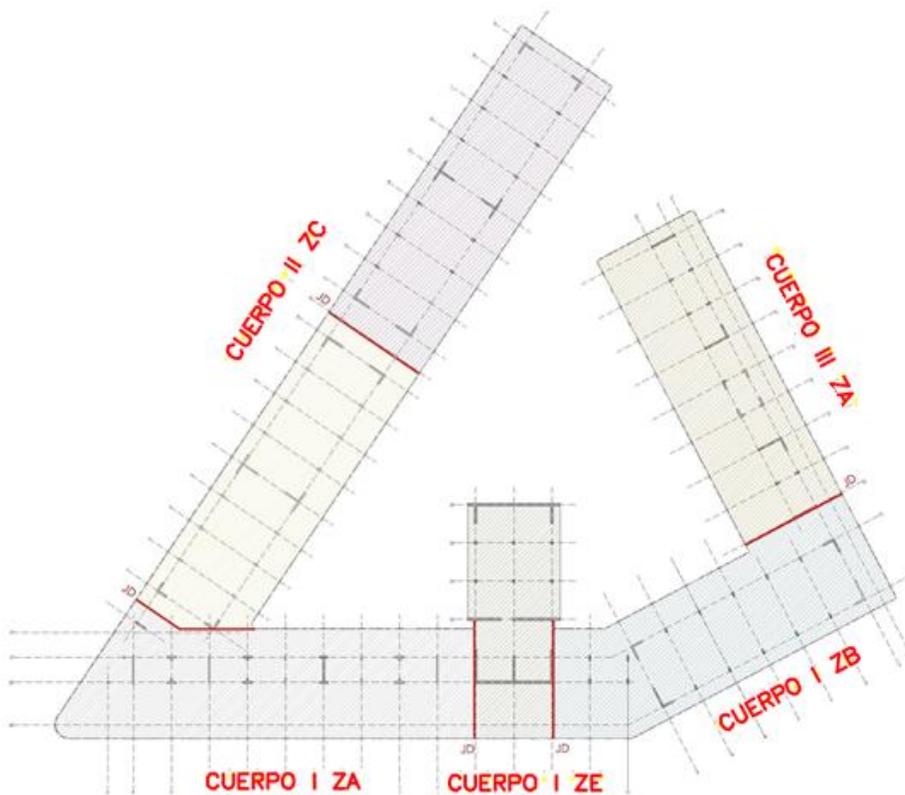


Figura 1 Bloques Estructurales de la Fase I del nuevo campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de Santo Domingo.

El análisis de cada uno de los Bloques Estructurales de la primera fase del proyecto dedicado a la vinculación con la sociedad de la ESPE campus Santo Domingo, se realizó para el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, considerando un perfil de suelo tipo D y un PGA igual al 40% de la aceleración de la gravedad, este se considera el sismo de diseño DBE.

Pero el control de deformaciones se debe realizar para el sismo máximo considerado MCE, el mismo que se obtiene multiplicando el espectro del sismo DBE por 1.5. Al observar los espectros registrados en Manta y Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril y se compara con los del NEC-15 se ve que es justificado utilizar el factor de 1.5

Las estructuras que se analizan tienen dos sistemas bien definidos, el uno

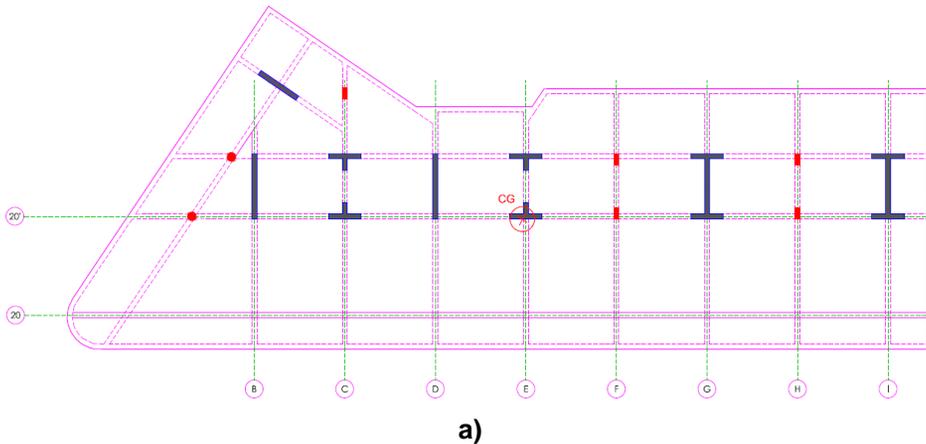
es el que resiste los sismos en base a muros de corte de 30 cm de espesor y el otro el que resiste las cargas verticales en base a columnas rectangulares de hormigón armado. En el sistema resistente a sismos las vigas no pasan por el centro de los muros sino por un lado para que se cree una articulación en el extremo de la viga que está en contacto con el muro.

En el Anexo D, se presenta el cálculo de la matriz de rigidez de un elemento en el sistema uno, que no considera los desplazamientos como cuerpo rígido para tres condiciones a saber: i) Articulación en el nudo inicial; ii) Articulación en el nudo final y iii) Articulación en el nudo inicial y final. Que corresponden a los casos en que el nudo inicial (izquierdo) de la viga pasa por un muro; el nudo final (derecho) pasa por el muro y para cuando una viga en sus dos extremos pasa por muros de corte (Aguiar 2014).

Luego se indica cómo se halla la matriz de rigidez en coordenadas locales y globales. Finalmente se termina el Anexo D, indicando la descripción de los nuevos programas del sistema de computación **CEINCI-LAB** que se han desarrollado para los tres casos.

2. ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA BLOQUE IZA

En la figura 2, se presentan tres alternativas estructurales para el Bloque Estructural IZA, que es de un piso. En la figura 2 a) se presentan los dos sistemas estructurales el de cargas verticales y el resistente a sismos; en cambio en las figuras 2 b) y 2 c) solo se indica el sistema estructural resistente a sismo, se entiende que el sistema resistente a cargas verticales es el mismo de la figura 2 a).



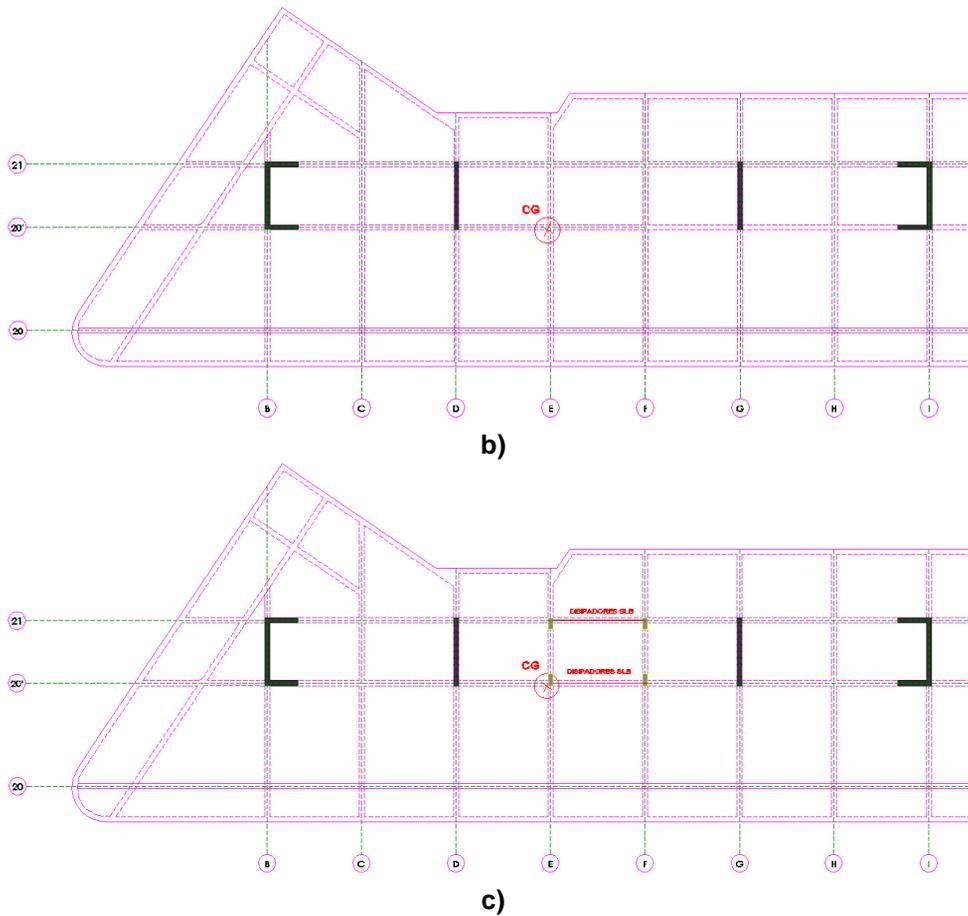
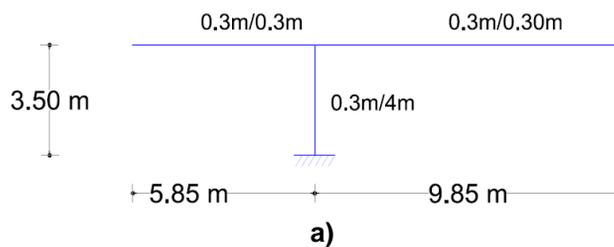
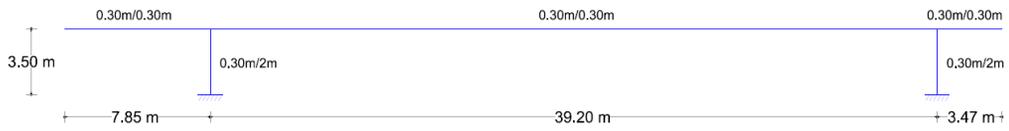


Figura 2 Alternativas Estructurales para el Bloque IZA; a) Estructura con muros rectos y en forma de “T”, sin disipadores de energía; b) Estructura con muros en forma de “C” sin disipadores de energía, y c) Estructura con muros en forma de “C” y con disipadores de energía Shear Link Bozzo.

2.1 Descripción de segunda alternativa

Para el análisis sísmico se consideró una carga total de 1 T/m^2 . Para la alternativa 2 b) se tienen cuatro líneas resistentes en sentido transversal y dos líneas en sentido longitudinal, las mismas que se indican en la figura 3.





b)

Figura 3 Líneas resistentes de segunda alternativa de Bloque IZA. a) Línea en sentido transversal de pórticos: B, D, G, I; b) Línea en sentido longitudinal de pórticos 20' y 21

En la figura 4 se presentan la rigidez lateral en cada una de las líneas resistentes y se observa que en sentido transversal la estructura es sumamente rígida en comparación con el sentido longitudinal.

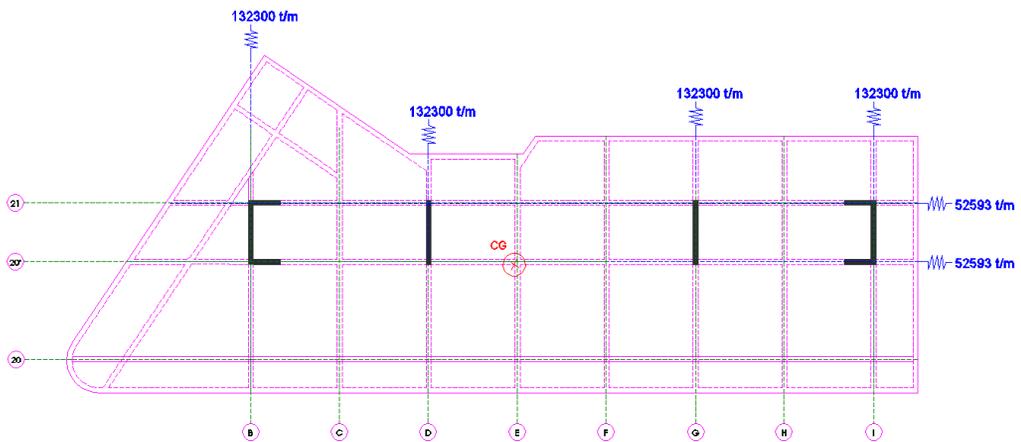
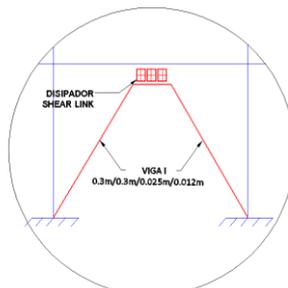


Figura 4 Rigidez lateral de los pórticos en segunda alternativa.

Los resultados del análisis sísmico, se presentan posteriormente para poder comparar con las otras alternativas.

2.2 Descripción de Tercera Alternativa

En la tercera alternativa se incorporan tres disipadores Shear Link sobre diagonales en forma V invertida; en la línea resistente en sentido longitudinal. Con estos disipadores se incrementa el factor de amortiguamiento a $\xi = 0.30$.



a)

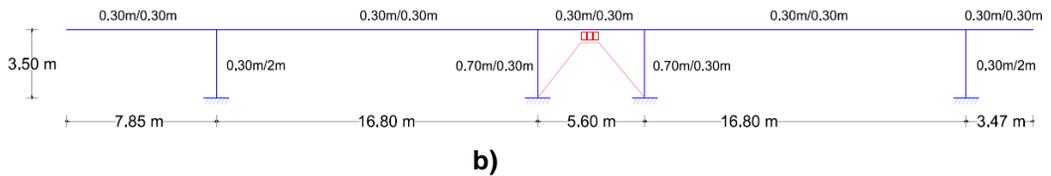


Figura 5 Línea resistente de tercera alternativa en sentido longitudinal; a) Parte Central en que se muestran los disipadores; b) Pórtico longitudinal con los disipadores de energía Shear Link Bozzo.

En la figura 6 se presenta la rigidez lateral de los pórticos para la tercera alternativa estructural. Se aprecia que en sentido longitudinal no se incrementó mayormente la rigidez lateral del pórtico pero si se lo hizo con el factor de amortiguamiento.

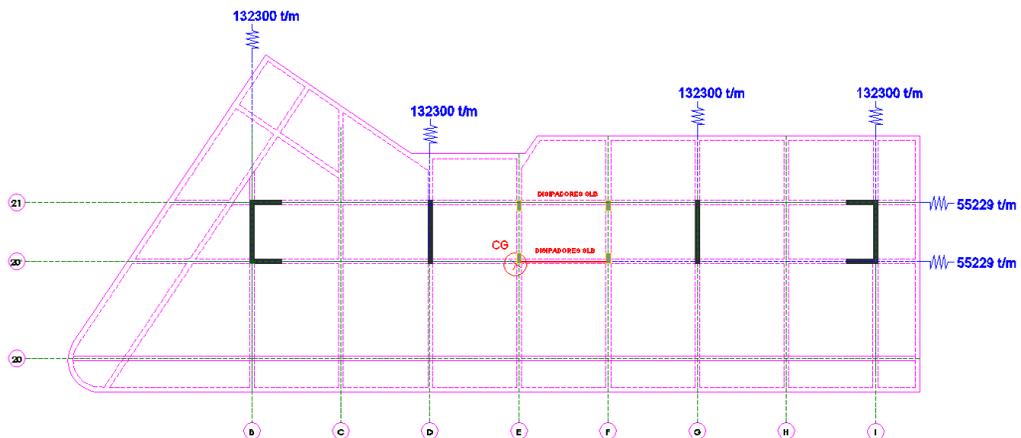


Figura 6 Rigidez lateral de los pórticos de la tercera alternativa con disipadores de energía Shear Link Bozzo.

2.3 Resultados del análisis sísmico

En las tablas 1 y 2, se presenta las respuestas en el centro de masas, para las tres alternativas estructurales indicadas en la figura 2; para los sismos DBE y MCE. Se indica el período fundamental de vibración T ; el desplazamiento lateral q y la deriva de piso γ .

Tabla 1 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido longitudinal

	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	DBE	MCE	DBE	MCE	DBE	MCE
T (s)			0.17		0.17	
q (mm)	9.01	13.515	9.50	13.80	4.3	6.4
γ (%)	0.257	0.386	0.26	0.40	0.12	0.18

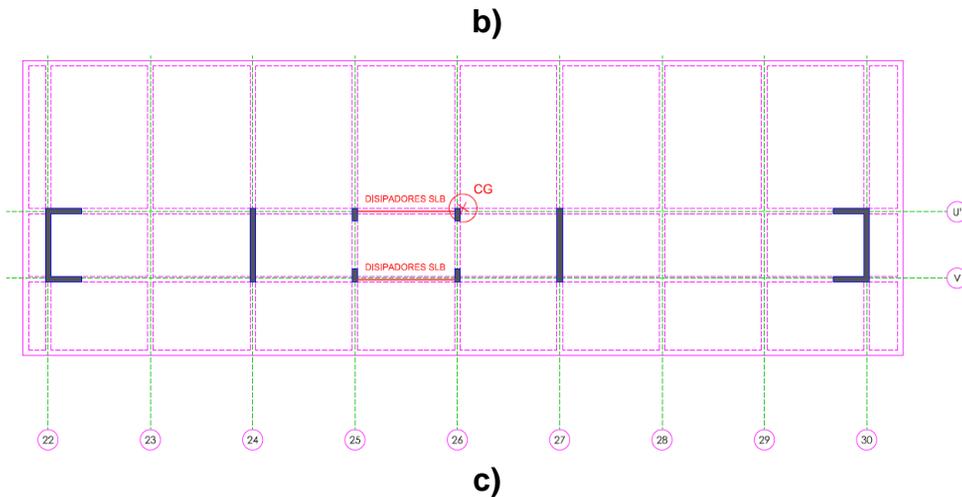


Figura 7 Alternativas Estructurales para el Bloque III ZA; a) Estructura con sistema estructural para cargas verticales y muros de corte como primera alternativa; b) Estructura con dos muros en forma de “C” y dos muros adicionales y sin disipadores de energía, y c) Estructura con dos muros en forma de “C” y dos muros adicionales y con disipadores de energía Shear Link Bozzo.

3.1 Descripción de segunda alternativa

Para el análisis sísmico se consideró una carga total de 1 T/m². Para la primera alternativa presentada en la figura 7 a) se tienen cuatro líneas resistentes en sentido transversal y dos líneas en sentido longitudinal, las mismas que se indican en la figura 8.

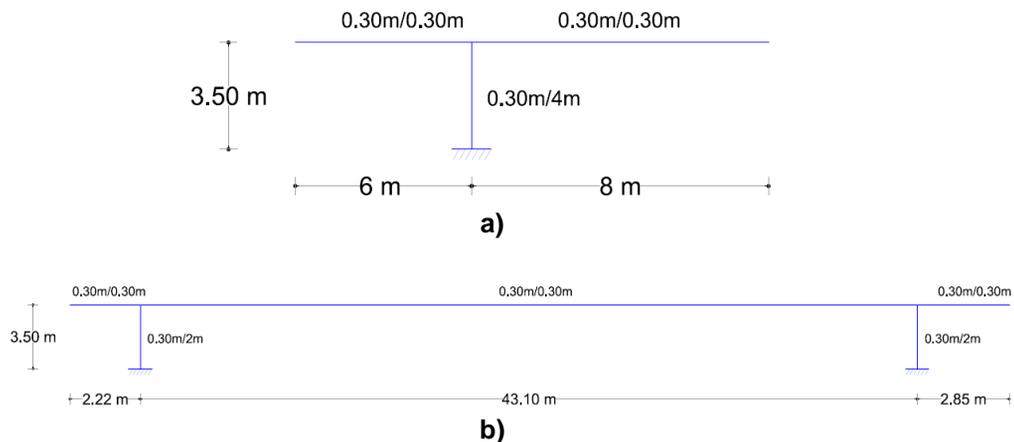


Figura 8 Líneas resistentes de la segunda alternativa del Bloque III ZA. a) Línea en sentido transversal de pórticos: 22, 24, 27 y 30; b) Línea en sentido longitudinal de pórticos U' y V

En la figura 9 se presentan la rigidez lateral en cada una de las líneas resistentes y se observa que en sentido transversal la estructura es sumamente

rígida en comparación con el sentido longitudinal.

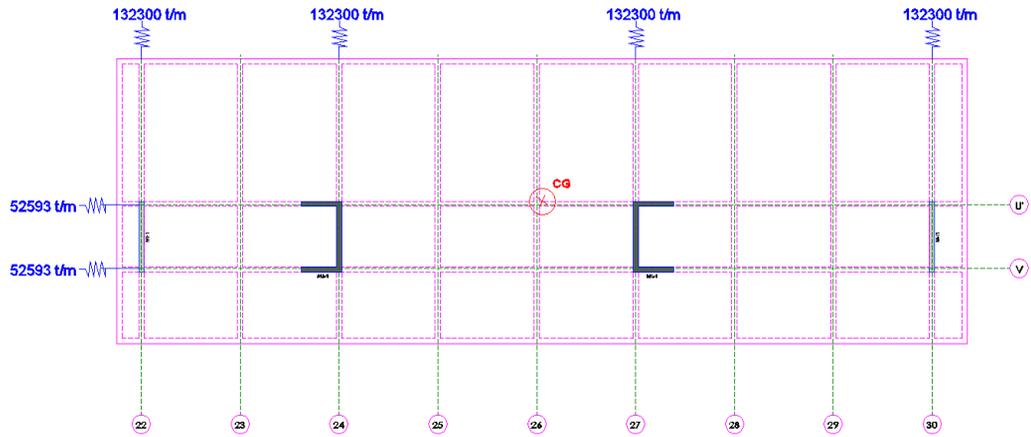


Figura 9 Rigidez lateral de los pórticos en segunda alternativa.

3.2 Descripción de Tercera Alternativa

En la tercera alternativa se incorporan tres disipadores Shear Link sobre diagonales tipo "I" de 300/300/18/15 mm en forma V invertida; los mismos que se colocarán en la línea resistente en sentido longitudinal.

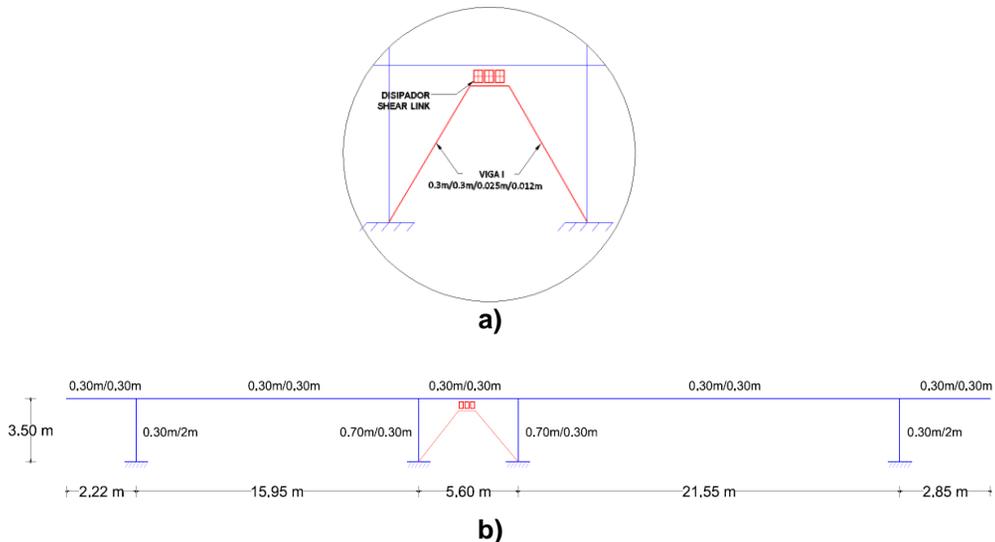


Figura 10 Línea resistente de segunda alternativa en sentido longitudinal; a) Parte Central en que se muestran los disipadores; b) Pórtico longitudinal con los disipadores de energía Shear Link Bozzo.

En la figura 11 se presenta la rigidez lateral de los pórticos para la segunda alternativa estructural. Se aprecia que en sentido transversal se tiene mayor rigidez

comparado con el sentido longitudinal donde se colocaron los disipadores.

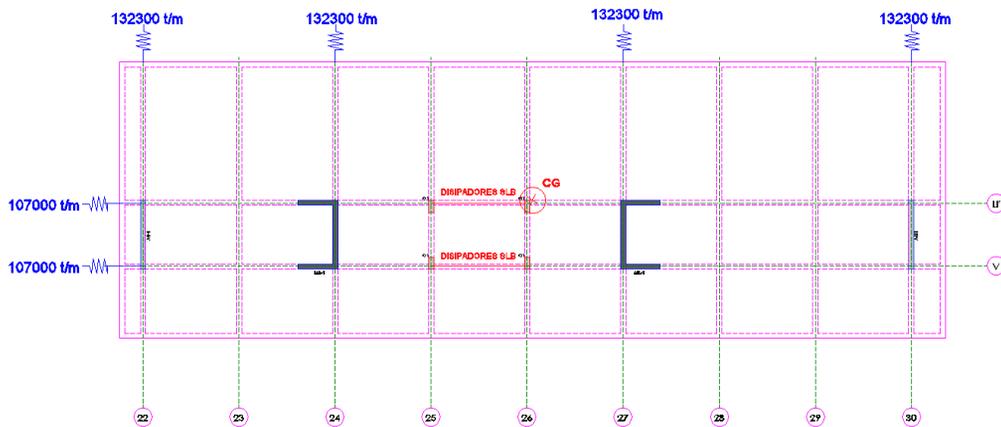


Figura 11 Rigidez lateral de los pórticos de la segunda alternativa con disipadores de energía Shear Link Bozzo.

3.3 Resultados del análisis sísmico

En las tablas 3 y 4, se presenta las respuestas en el centro de masas, para las dos alternativas estructurales indicadas en la figura 2; para los sismos DBE y MCE. Se indica el período fundamental de vibración T ; el desplazamiento lateral q y la deriva de piso γ .

Tabla 3 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido longitudinal

	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	DBE	MCE	DBE	MCE	DBE	MCE
T (s)			0.17		0.12	
q (mm)	8.73	13.095	8.70	13.10	2.40	3.70
γ (%)	0.249	0.374	0.249	0.375	0.069	0.105

Tabla 4 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido transversal

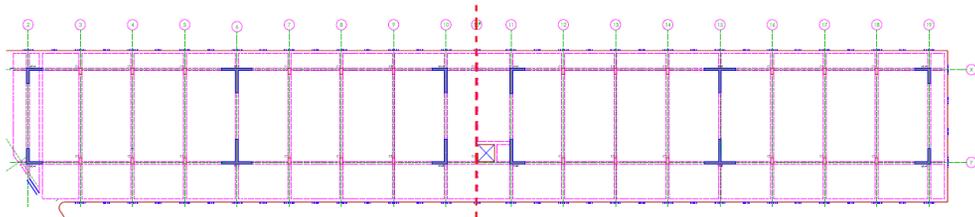
	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	DBE	MCE	DBE	MCE	DBE	MCE
T (s)			0.17		0.12	
q (mm)	2.82	4.23	0.01	0.10	0.049	0.10
γ (%)	0.081	0.122	0.00097	0.0015	0.0014	0.0021

Las derivas de piso obtenidas para el sentido transversal como para el longitudinal para las tres alternativas son mínimas, sin embargo la tercera alternativa que propone usó de disipadores de energía se tienen derivas menores al 0.10% garantizando que en caso de haber un movimiento telúrico no se tendrán daños (fisuras o grietas) en mamposterías.

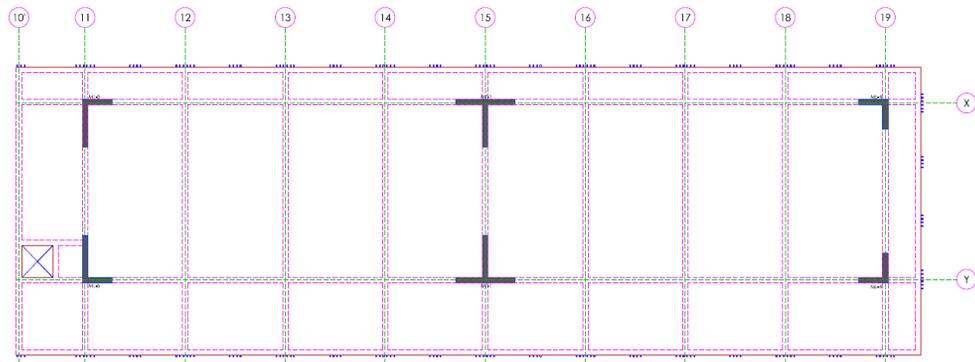
4. ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA BLOQUE II ZC

El bloque estructural II ZC es demasiado largo, se separará en dos cuerpos estructurales colocando una junta sísmica, dejando un espacio suficiente para que no se impacten en caso de un movimiento telúrico.

En la figura 12, se presentan dos alternativas estructurales para el Bloque Estructural II ZC, que es de dos pisos, el piso inferior se encuentra semienterrado por lo que se han colocado muros perimetrales. En la figura 12 a) se presentan el bloque completo, la línea roja punteada indica la división del bloque en dos estructuras independientes, en cambio en las figuras 12 b) se indica la primera alternativa con un sistema estructural resistente a sismo compuesto por muros de corte perimetrales e interiores y en 7 c) la segunda alternativa el sistema estructural resistente a sismo compuesto por muros de corte perimetrales e internos y disipadores Shear Link Bozzo.



a)



b)

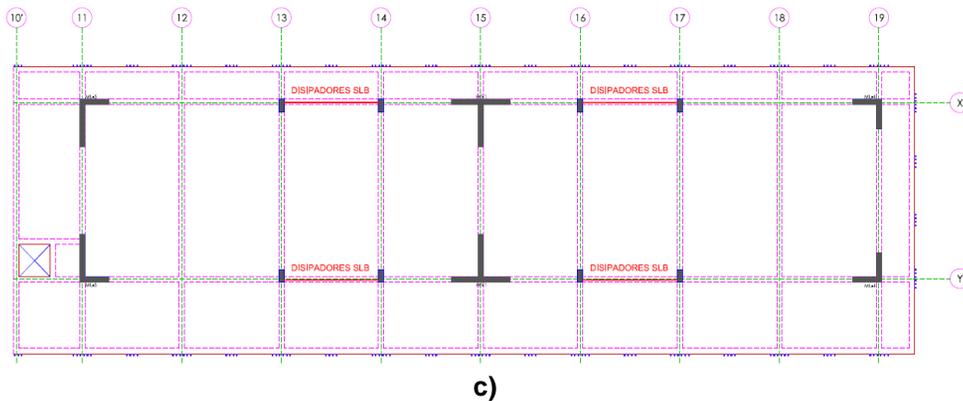


Figura 12 Alternativas Estructurales para el Bloque II ZC; a) Estructura completa con sistema estructural para cargas verticales y muros perimetrales e interiores; b) Estructura independiente con muros perimetrales en forma de “L” y muros interiores en forma de “T”, sin disipadores de energía, y c) Estructura con muros perimetrales en forma de “L” y muros interiores en forma de “T”, con disipadores de energía.

4.1 Descripción de primera alternativa

Para el análisis sísmico se consideró una carga total de 1 T/m^2 . Para la primera alternativa se presenta muros de corte sin disipadores, se tiene en el sentido transversal tres líneas resistentes presentada en la figura 13 a) y dos en el sentido longitudinal mostrada en la figura 13 b)

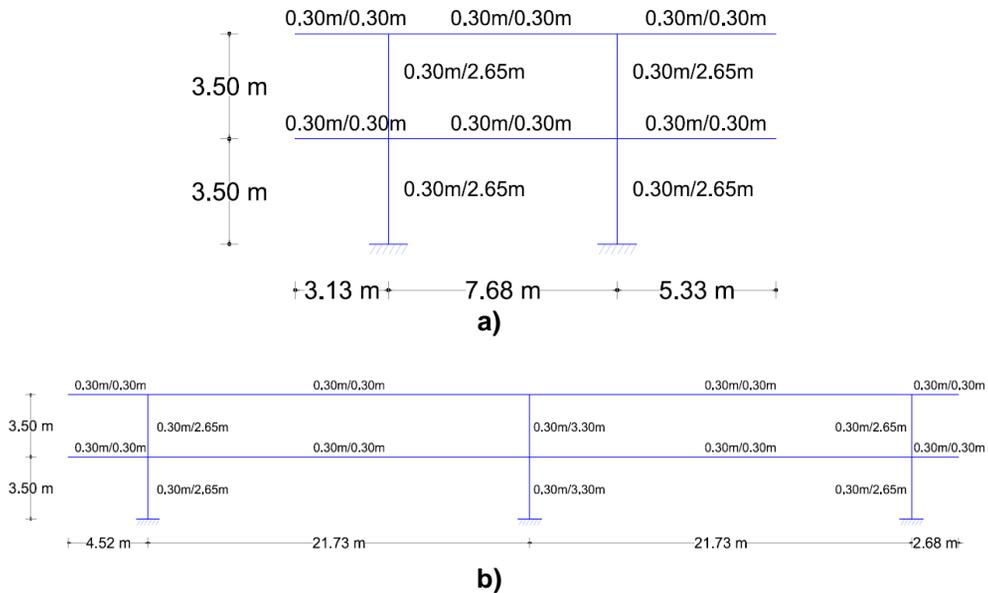


Figura 13 Líneas resistentes de primera alternativa del Bloque II ZC. a) Línea en sentido transversal de pórticos: 11, 15 y 19; b) Línea en sentido longitudinal de pórticos X y Y.

4.2 Descripción de Segunda Alternativa

La segunda alternativa para el bloque estructural II ZC incorpora muros de corte y disipadores de energía Shear Link, los mismo que se colocarán en la planta alta en las líneas resistentes longitudinales correspondientes a los ejes X y Y.

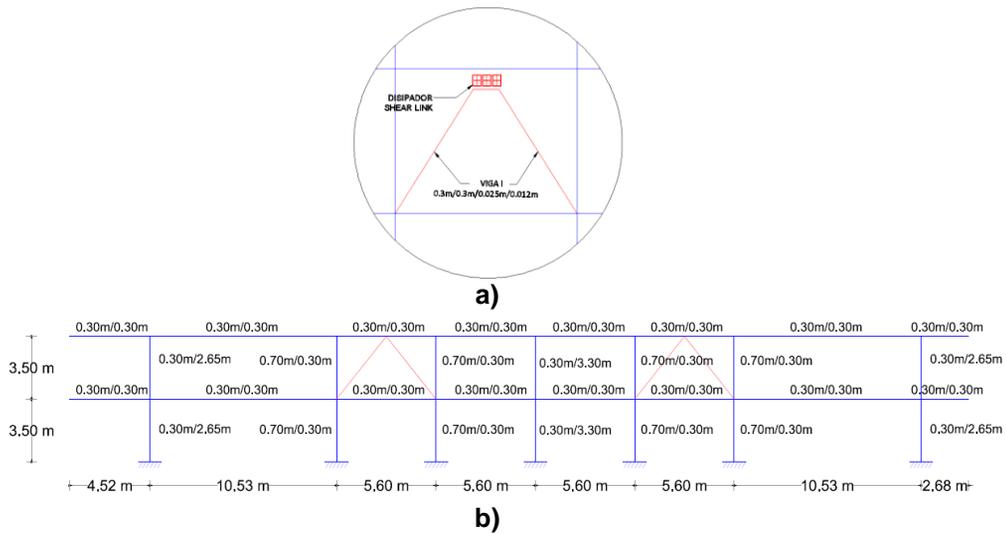


Figura 14 Línea resistente de segunda alternativa en sentido longitudinal; a) Detalle de vanos en donde se colocarán los disipadores; b) Pórtico longitudinal con los disipadores de energía Shear Link Bozzo.

4.3 Resultados del análisis sísmico

En las tablas 5 y 6, se presenta las respuestas en el centro de masas, para las dos alternativas estructurales indicadas en la figura 12; para los sismos DBE y MCE. Se indica el período fundamental de vibración T ; el desplazamiento lateral q y la deriva de piso γ .

Tabla 5 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido longitudinal

	Alternativa 1				Alternativa 2			
	DBE		MCE		DBE		MCE	
	Sub suelo	Piso 1	Sub suelo	Piso 1	Sub Suelo	Piso 1	Sub suelo	Piso 1
T (s)	0.27		0.27		0.27		0.27	
q (mm)	6.20	17.50	9.20	26.30	0.9	2.40	1.30	3.60
γ (%)	0.18	0.33	0.26	0.49	0.024	0.044	0.037	0.066

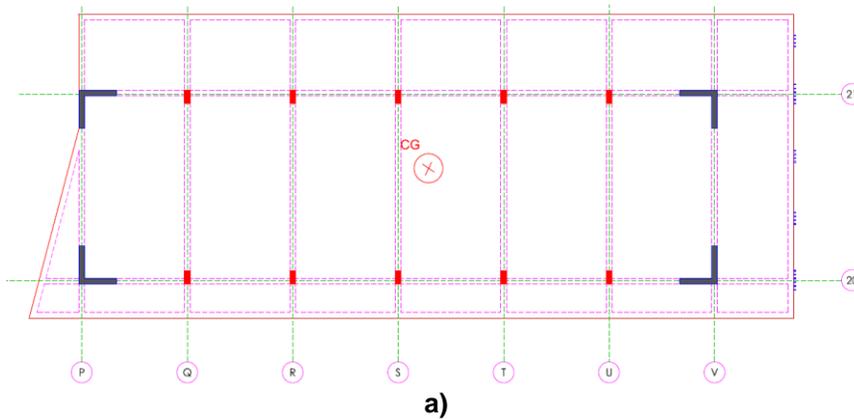
Tabla 6 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido transversal

	Alternativa 1				Alternativa 2			
	DBE		MCE		DBE		MCE	
	Sub suelo	Piso 1	Sub suelo	Piso 1	Sub Suelo	Piso 1	Sub suelo	Piso 1
$T (s)$	0.27		0.27		0.27		0.27	
$q (mm)$	7.00	20.00	10.50	29.90	0.15	0.42	0.22	0.63
$\gamma(\%)$	0.20	0.37	0.300	0.56	0.004	0.008	0.006	0.011

Para las tres alternativas se tienen derivas menores al 2% cumpliendo como indica la Norma Ecuatoriana; sin embargo se puede mejorar mediante la utilización de disipadores para tener derivas menores al 0.2% las mismas que garantizarán que no habrá daños en la mampostería.

5. ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA BLOQUE I ZB

El bloque I ZB es de un piso. La figura 15 muestra dos propuestas estructurales resistentes a sismo, la primera propuesta tiene cuatro muros de corte en la dirección longitudinal y transversal mostrada en la figura 15 a); también se tiene de color rojo el sistema resistente a carga vertical el cual será el mismo para las dos propuestas. En la figura 15 b), se tiene la segunda alternativa la cual propone la utilización de disipadores de energía en dos líneas longitudinales.



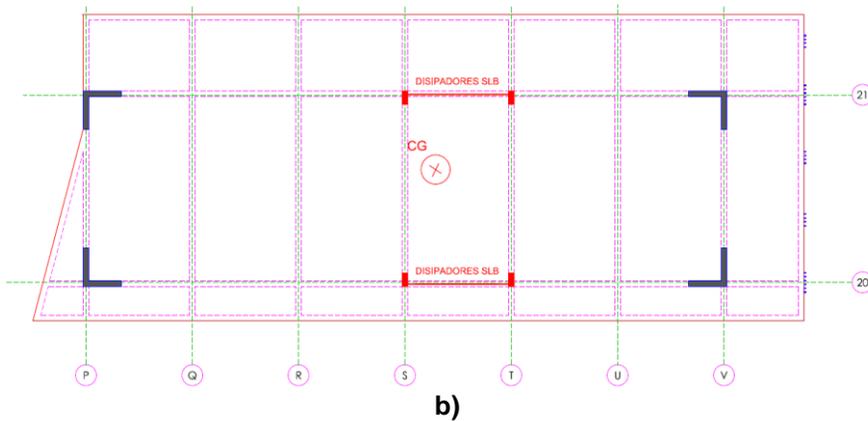


Figura 15 Alternativas Estructurales para el Bloque I ZB; a) Estructura con sistema para cargas verticales y muros de corte como primera alternativa; b) Estructura con cuatro muros en forma de “L” y con disipadores de energía.

5.1 Descripción de primera alternativa

La primera alternativa para el bloque I ZB se tiene muros de corte en el sentido longitudinal y transversal, teniendo dos líneas resistentes a sismo transversalmente como se presenta en la figura 16 a) y dos en el sentido longitudinal mostradas en la figura 16 b) ; tanto en el sentido transversal como longitudinal están compuestas por muros de corte de 0.30 m por 2 m.

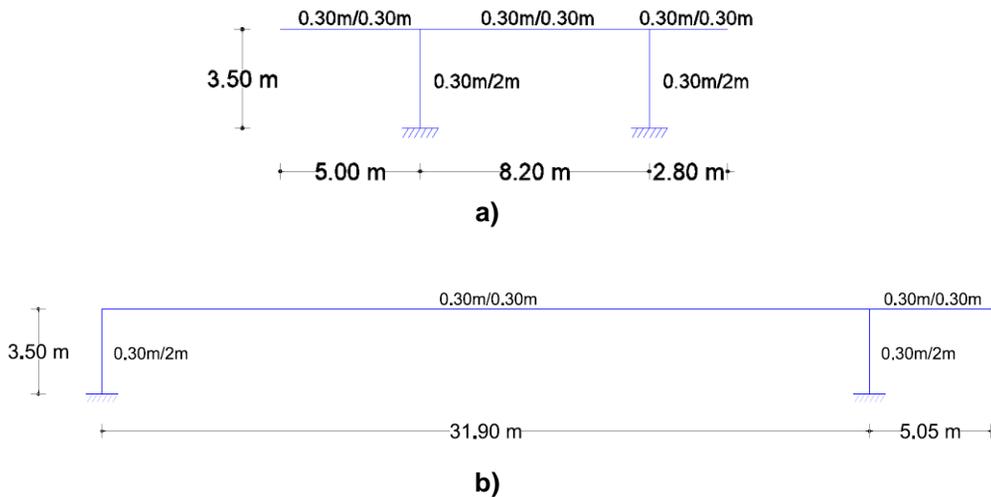


Figura 16 Líneas resistentes de la primera alternativa del Bloque I ZB. a) Línea en sentido transversal de pórticos: P y V; b) Línea en sentido longitudinal de pórticos 20 y 21

En la figura 17 se presentan la rigidez lateral en cada una de las líneas resistentes.

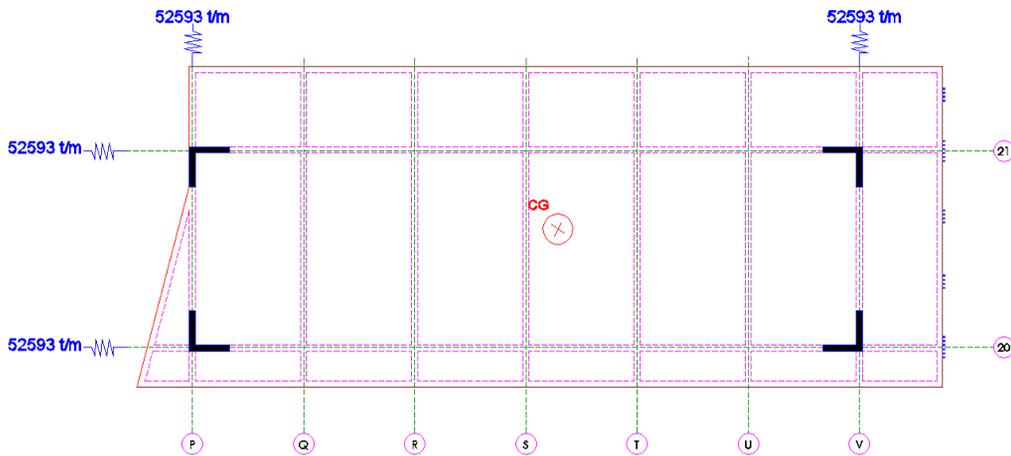


Figura 17 Rigidez lateral de los pórticos en primera alternativa.

5.2 Descripción de Segunda Alternativa

La segunda alternativa incorpora los muros que se tenían en la primera alternativa adicionando disipadores Shear Link colocados en el sentido longitudinal en el centro de gravedad de la estructura sobre diagonales tipo "I" en forma V invertida de sección 300/300/18/15mm.

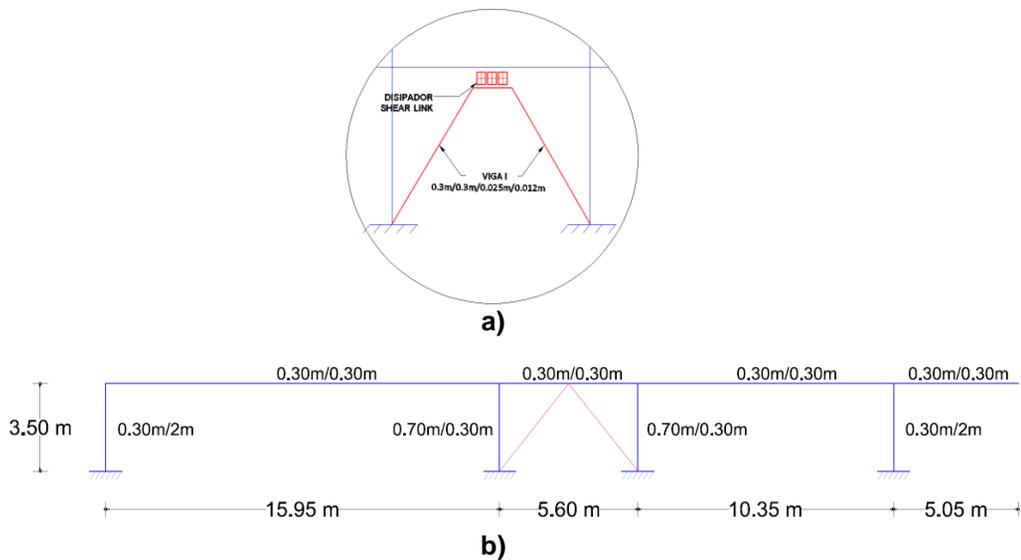


Figura 18 Línea resistente de segunda alternativa en sentido longitudinal; a) Parte Central en que se muestran los disipadores; b) Pórtico longitudinal con los disipadores de energía Shear Link Bozzo.

En la figura 19 se presenta la rigidez lateral de los pórticos para la segunda alternativa estructural.

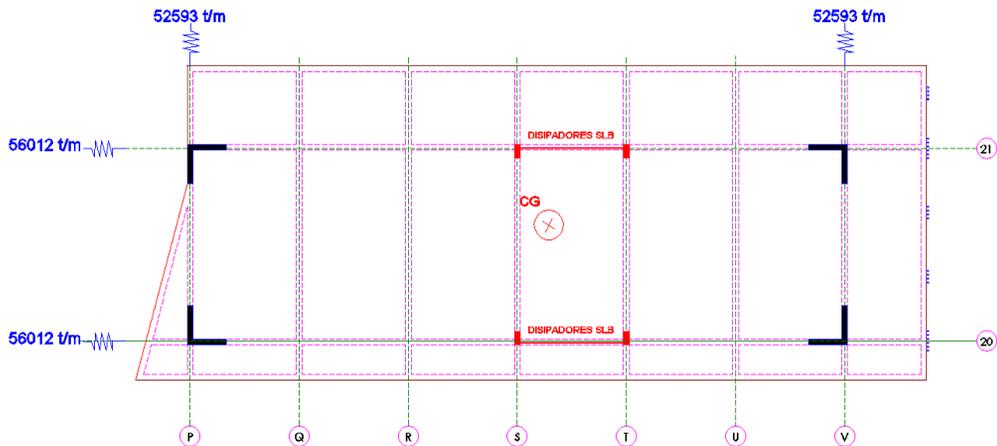


Figura 19 Rigidez lateral de los pórticos de la segunda alternativa con disipadores de energía Shear Link Bozzo.

5.3 Resultados del análisis sísmico

En las tablas 7 y 8, se presenta las respuestas en el centro de masas, para las dos alternativas estructurales indicadas en la figura 11; para los sismos DBE y MCE. Se indica el período fundamental de vibración T ; el desplazamiento lateral q y la deriva de piso γ .

Tabla 7 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido longitudinal

	Alternativa 1		Alternativa 2	
	DBE	MCE	DBE	MCE
$T (s)$	0.16		0.16	
$q (mm)$	13.33	19.99	3.70	5.60
$\gamma(\%)$	0.380	0.570	0.106	0.159

Tabla 8 Período, desplazamiento lateral y deriva de piso; en sentido transversal

	Alternativa 1		Alternativa 2	
	DBE	MCE	DBE	MCE
$T (s)$	0.16		0.16	
$q (mm)$	6.11	9.17	0.1	0.15
$\gamma(\%)$	0.175	0.263	0.0016	0.0024

6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Como se expresa en este documento, y se puede comprobar en los datos y tablas, los bloques estructurales del nuevo edificio de Vinculación con la Sociedad presentan resultados óptimos de comportamiento al sismo. Tal es así que la norma ecuatoriana de la construcción en la sección 6.3.9 presenta para estructuras de hormigón armado se debe tener una deriva máxima del 2% y los cinco cuerpos considerados sin disipadores presentan resultados máximos de 0.26%, 0.25%, 0.37% y 0.38%. Así pues, se puede considerar una estructura de diseño sismo resistente.

Sin embargo se puede mejorar el comportamiento de la estructura mediante el uso de disipadores de energía para alcanzar derivas menores al 0.2%, garantizando que no se presenten daños (fisuras o grietas) en mamposterías. En todos los cuerpos estructurales se utilizaron tres disipadores SLB_6(170x170), obteniendo derivas inferiores al 0.2% y desplazamientos menores a comparación de las otras alternativas estructurales, siendo está la más óptima que garantizará la seguridad ante un movimiento telúrico.

7. REFERENCIAS

1. Aguiar R., Bozzo L., Coyago H., Andino C., (2016), "Análisis sísmico de Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo", *Revista Ciencia*, 18 (2), 123-160. Disponible en: http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
2. Aguiar R., Bozzo L., Mora D., Silva H., Caiza P., Coyago H. (2016), "Protocolo de instalación de disipadores Shear Link Bozzo SLB40_3 y placas Gusset en bloque estructural 4 de la UFA-ESPE", *Revista Internacional de Ingeniería de estructuras*, 21 (2), 127-150. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
3. Aguiar R., Silva H., Coyago H. (2016), "Desarrollo de un programa en Excel para diseñar placas Gusset. Aplicación a una estructura con disipadores de energía de UFA-ESPE" *Revista Ciencia*, 18 (3), 353-380. Disponible en: http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
4. Aguiar Roberto, (2014), *Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB*, Cuarta Edición. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, Ecuador, 676 p., Quito.
5. Aguiar R. (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
6. Bozzo Luis, (2014), *Boletín de Novedades-News Report*, Internet: www.luisbozzo.com.
7. Bozzo Luis y Barbat Alex, (1999), *Diseño sismorresistente en edificios. Técnicas Convencionales y avanzadas*, Editorial Reverte, Barcelona.
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.
9. NEC-15 (2015) Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente. 138 p. Quito.

ANEXO A

Los disipadores tienen distintas medidas geométricas. Se denominarán de la siguiente forma SL_X (Y x W), siendo: X el espesor de la ventana en mm, Y la altura del disipador en mm y Z el ancho del disipador en mm.

El disipador a utilizar para el proyecto es un SLB_6(170x170), su geometría se presenta en la figura 20.

En la parte superior de este disipador se tienen los orificios circulares donde van los pernos, en cambio en la parte inferior los orificios son en forma de ovalo, donde van los pernos (colisos verticales), los mismos que pueden desplazarse verticalmente; al poder desplazarse verticalmente la fuerza axial es cero.

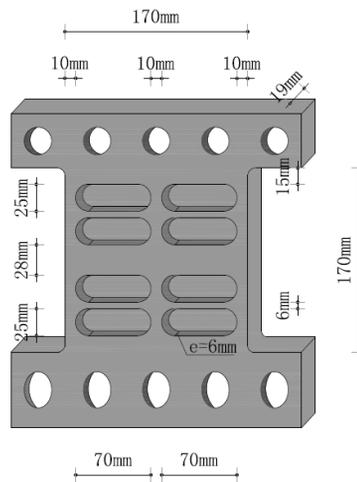


Figura 20 Geometría del disipador SLB_6(170x170) a utilizar en el Proyecto.

Se han realizado diversos ensayos en laboratorios de Perú obteniendo curvas histeréticas de los diferentes dispositivos, estos resultados se presentan en la Tabla 9, los cuales son parámetros de diseño de los disipadores Shear Link Bozzo, donde: K_1 es la rigidez inicial, K_2 es la rigidez post-plastificación, D_y es el desplazamiento de plastificación, F_y es la fuerza de plastificación y F_{MAX} es la fuerza máxima a 20 mm.

Tabla 9 Parámetros de diseño para el dispositivo Shear Link

Dispositivo	e	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	D _y (mm)	F _y (KN)	F _{MAX} (KN)
SLB_9(320x500)	9	54259.26	397.87	0.27	1465	2250
SLB_10(320x350)	10	45882.35	293.75	0.255	1170	1750
SLB_8(3200x2500)	8	25961.54	189.97	0.26	675	1050
SLB_8(170x170)	8	27379.68	145.36	0.187	512	800
SLB_6(170x170)	6	22928.18	124.63	0.181	415	662

ANEXO B

A continuación se presenta dos alternativas para la instalación de los disipadores Shear Link Bozzo y placas Gusset. Antes de instalar los disipadores de energía, se debe colocar la placa de soporte en la viga por donde pasara los disipadores y la placa gusset sujeta en la columna donde llegaran las diagonales en forma de V invertida.

Debido a que es una estructura con elementos de hormigón armado, se ha planteado dos alternativas para la colocación de placa Gusset. Como primera alternativa se tendrán que las placas de soporte deberán ser colocadas después de tener el armado de vigas y columnas, puesto que estas se colocarán mediante anclajes para posteriormente fundir vigas y columnas. En la figura 21 se puede observar el sistema de anclaje de placa Gusset y de la placa superior para colocación de los disipadores.

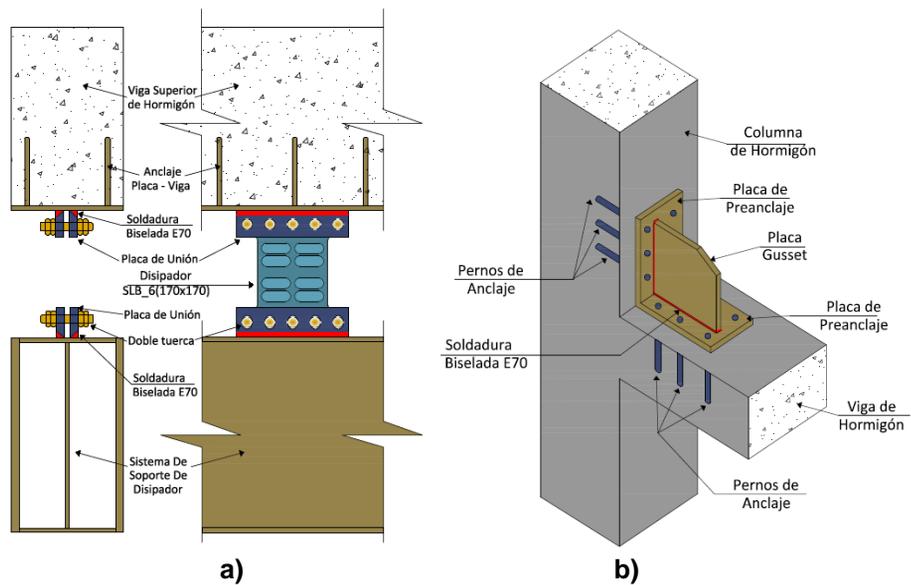


Figura 21. Placas de apoyo para el disipador SLB y placa Gusset. a) Placas de apoyo con anclaje y sistema de soporte para el disipador SLB. b) Placa Gusset inserta en viga y columna mediante los anclajes de acero.

La segunda alternativa para la colocación de la placa Gusset, es mediante placas metálicas insertadas después de la fundición de las columnas y vigas de hormigón armado como se muestra en la Figura 22 a), donde se han colocado placas de acero soldadas en los ángulos, tal como se indica en Figura 22 b), una vez colocadas se procede a soldar la placa Gusset.

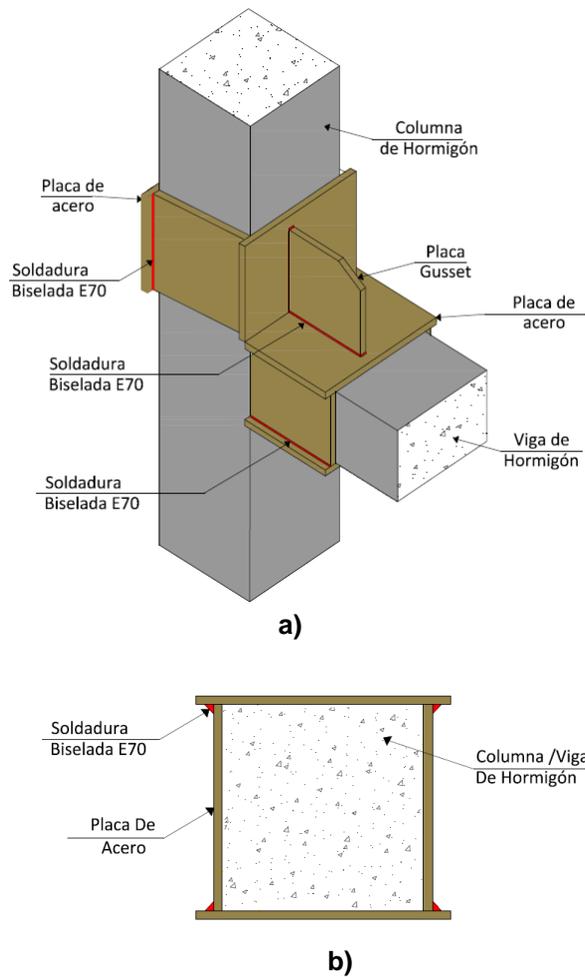


Figura 22. Alternativas constructivas para colocación de placa Gusset. a) Placas de soporte en viga y columna para colocación de placa Gusset. b) Conexión de placa Gusset mediante placas de acero soldadas en los ángulos.

ANEXO C

Se presenta el diseño de la conexión diagonal de acero tipo I de 300x300x18x15 mm y placa Gusset, correspondiente al bloque II ZC, este es de dos pisos y tiene mayores cargas para diseño de las placas Gusset. En la figura 23 se indican las dimensiones de vigas, columnas y cargas axiales en las diagonales.

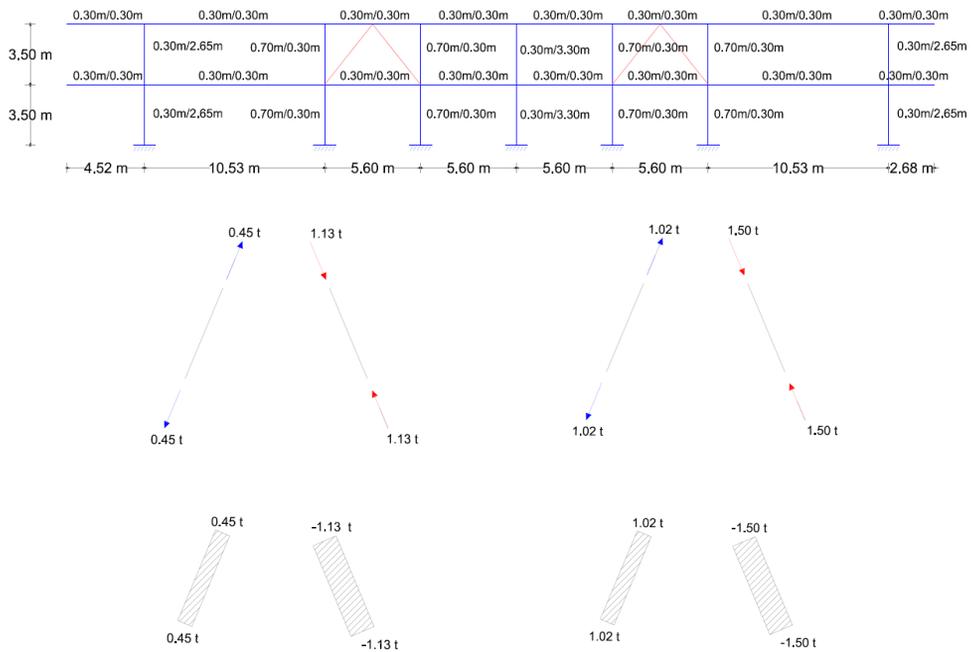


Figura 23 Geometría del pórtico Y del bloque IIZC y cargas axiales en diagonales.

Los elementos estructurales que se tienen en este diseño son: Perfil conector angular tipo "L" de 4x4x3/4 pulg de acero A36 con valores $F_y = 36 \text{ ksi}$; $F_u = 58 \text{ ksi}$, placas de refuerzo del alma del contraviento a placa Gusset de espesor 14mm son del mismo material A36.

Los pernos a utilizar en las alas de la viga "I" son A325-N con resistencias nominales a tracción y corte. $F_{nt} = 90 \text{ ksi}$; $F_{nv} = 54 \text{ ksi}$. El diámetro del perno es 1 pulgadas.

Para el alma los pernos son del mismo material que los pernos de las alas pero son más pequeños, su diámetro es de 0.75 pulgadas.

El espesor de la placa Gusset es $t_p = 15 \text{ mm}$ de acero A36, soldada a las placas conectoras mediante suelda E70XX con $F_u = 70 \text{ ksi}$.

Las dimensiones de cada elemento estructural que interfiere en este diseño se presentan en la Figura 24.

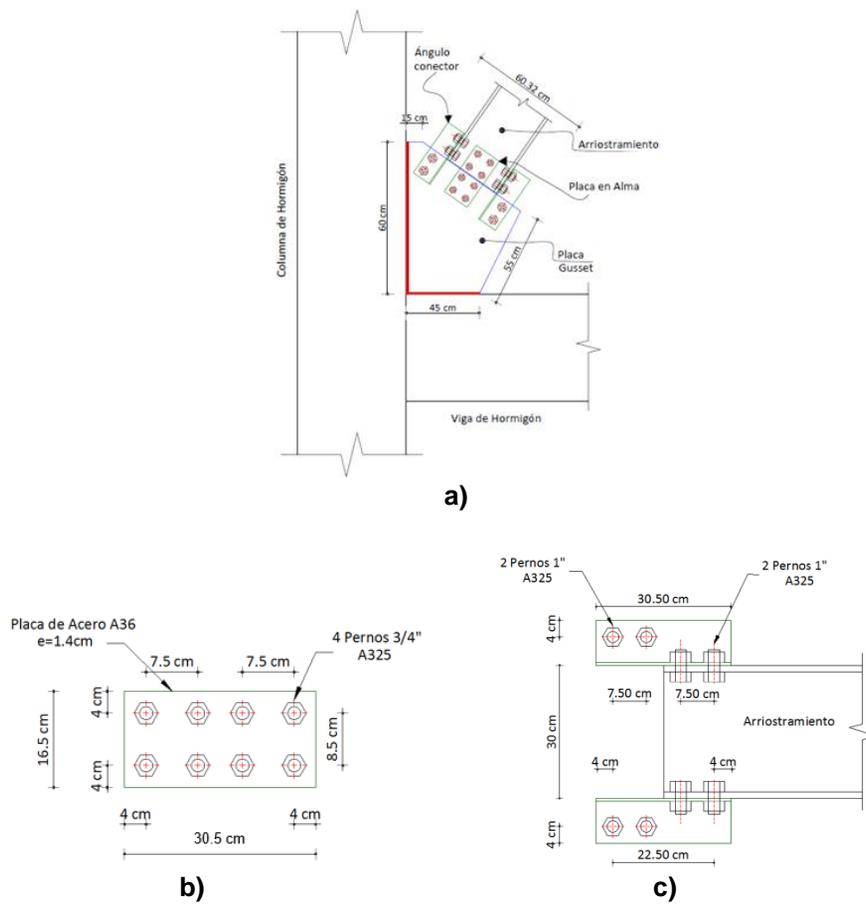


Figura 24 Elementos de conexión diagonal – placa Gusset: a) Vista en planta de placa conectora de acero; b) Vista de ángulo conector tipo “L” con pernos en el ala de la viga I.

ANEXO D

Se presenta la matriz de rigidez de un elemento en el sistema uno considerando articulación a la derecha, siendo E, el módulo de elasticidad del material, I inercia del elemento, L longitud del elemento y A área del elemento.

$$K1 = \begin{bmatrix} \frac{3 \cdot E \cdot I}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{E \cdot A}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

De la misma manera se presenta la matriz de rigidez de un elemento en el sistema uno considerando articulación a la izquierda.

$$K1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3 \cdot E \cdot I}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Por último se presenta la matriz de rigidez de un elemento considerando articulación en el nudo inicial y final del elemento.

$$K1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

A continuación el cálculo de la matriz de rigidez K2 en coordenadas locales de elementos con articulaciones, T_{1-2} es la matriz de paso del sistema 1 al sistema 2 y K1 es la matriz de rigidez de un elemento con articulación pudiendo ser cualquiera de los tres casos con articulación presentados.

$$K2 = T_{1-2}' * K1 * T_{1-2} \quad (4)$$

Finalmente se tiene el cálculo de la matriz de rigidez K3 en coordenadas locales de elementos con articulaciones, siendo T_{2-3} matriz de paso de coordenadas locales a globales.

$$K3 = T_{2-3}' * K2 * T_{2-3} \quad (5)$$

Para el cálculo de la matriz de rigidez de una estructura usando el ordenador, se necesita previamente definir la matriz de coordenadas generalizadas CG , y la matriz que contiene los vectores de colocación VC de cada elemento.

Una vez determinadas las matrices CG y obtenida la matriz VC se procede al cálculo de la matriz de rigidez de la estructura K , mediante ensamblaje directo de las matrices de rigidez en coordenadas globales de cada uno de los elementos de la misma utilizando el vector de colocación. Aguiar (2012).

Se presenta la descripción de los programas del sistema de computación **CEINCI-LAB** que se han desarrollado para hallar la rigidez de los tres casos de elementos con articulación.

[K]=krigidez_articulación_izquierda(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E)

Programa que determina la matriz de rigidez de Pórticos Planos o de Armaduras Planas; para elementos compuestos de muros de corte con viga que forma articulación en la izquierda del muro.

[K]=krigidez_articulación_derecha(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E)

Programa que determina la matriz de rigidez de Pórticos Planos o de Armaduras Planas; para elementos compuestos de muros de corte con viga que forma articulación en la derecha del muro.

[K]=krigidez_articulación_izq_dere(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E)

Programa que determina la matriz de rigidez de Pórticos Planos o de Armaduras Planas; para elementos compuestos de muros de corte con viga que forma articulación en la derecha e izquierda del muro.

Las variables para los tres programas para hallar la rigidez de elementos con articulación son: **ngl** es el número de grados de libertad de la estructura; **L**, es un vector con la longitud de cada uno de los elementos; **seno, coseno**, vectores con los senos y cosenos de cada elemento; **VC** es la matriz con los vectores de colocación de cada elemento; **E** es el módulo de elasticidad del material y **ELEM** define la geometría de las secciones transversales de los elementos.