

Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía y reforzamiento clásico aplicado a una estructura de la escuela sucre

Strengthening of structures with energy dissipating and classic reinforcement applied to a structure of Sucre School

Roberto Topón Albornoz¹

Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconí²

Msc. Ing. Manuel Cando Loachamín³

1 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, robertocta23@hotmail.com

2 Profesor Investigador CIENCI Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, raguiar@espe.edu.ec

3 Profesor Ingeniero Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, macando@espe.edu.ec

RESUMEN

En este artículo se presentan los tres tipos de reforzamiento utilizados en dos estructuras de la Escuela Sucre, se realiza el análisis de vulnerabilidad y reforzamiento sísmico de las estructuras; sin reforzamiento y reforzadas con: diagonales de acero, barras de pandeo restringido y con disipadores de energía viscoelásticos. Al realizar el análisis con el NEC11 se encuentra que tiene valores de deriva de piso y excentricidad altos, los cuales nos indican que hay problemas de torsión en las estructuras analizadas sin reforzamiento. Para contrarrestar la torsión se incrementa un pórtico en cada estructura analizada lo cual nos ayudó a bajar los valores de excentricidad en cada estructura, además que bajan los valores de deriva de piso que nos indicaban desplazamientos altos en la estructura sin reforzar, proveyendo de mayor rigidez. Por lo tanto disminuyen los efectos de daño en las estructuras en caso de eventos sísmicos.

Palabras Clave: Vulnerabilidad Sísmica, NEC-11, Reforzamiento Clásico, BPR, Disipadores de energía viscoelásticos.

ABSTRACT

The three types of reinforcement used in the two structures Sucre School are presented in this article, the analysis of vulnerability and seismic retrofit of structures was applied, reinforcement and reinforced: diagonal steel bars buckling restrained and sinks viscoelastic energy. When analyzing the NEC11 found to have values derived from floor and high eccentricity, which indicate that there are problems on torsion structures analyzed without reinforcement. To counter the torque portico increases in each structure analyzed which helped to lower the offset values in each structure, along which lower values derived from floor indicating us high displacement in the structure not reinforced, providing greater rigidity. Therefore decrease the effects of damage to structures where seismic events.

Keywords: Seismic Vulnerability, NEC-11, Reinforcement Classic, RBB, Viscoelastic Energy Dissipators

1 INTRODUCCIÓN

En este artículo se explica la necesidad de reforzar las estructuras, las fallas que se producen por fuerzas sísmicas, en la que se toma la precaución de reforzamiento, el análisis dinámico de las estructuras describiendo mediante la matriz de rigidez y de masas de la estructura, el proceso de análisis con el método de superposición modal utilizando el espectro del NEC11. Se describe brevemente los reforzamientos de los bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre, que se lo realizan utilizando diagonales de acero, disipadores de energía de barras de pandeo restringido BPR y disipadores de energía viscoelásticos, que propone el CEINCI, con las respectivas fórmulas de cálculo. Se realiza un análisis modal espectral con el NEC11 para determinar el periodo, formas modales y derivas de piso, además de verificar con excentricidades de rigidez cual de los reforzamientos mencionados nos convienen.

2 ESTADO DEL ARTE

En el país se han realizado varias investigaciones en el campo del reforzamiento de estructuras como se puede ver en algunos trabajos de titulación en las universidades, entre estas referencias tenemos: Reforzamiento sísmico de una nave industrial, un coliseo y un teatro [1], Reforzamientos de viviendas y piscinas construidas con perfiles de acero en zonas sísmica [2], Reforzamiento Sísmico de Naves Industriales con Vigas San Andrés [3], Análisis, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de Planchas Soldadas [4]. Sin embargo, el reforzamiento con barras de pandeo restringido BPR y disipadores viscoelásticos es limitado. Actualmente, es posible incluir el efecto de los BPR y disipadores en el análisis estructural del edificio, empleando rigideces equivalentes, obtenidas a partir de la literatura científica: Análisis Sísmico de Edificios [5], Clase 14-07-2012 [6], Análisis Sísmico de estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos [7].

3 METODOLOGÍA

1. Se realiza un análisis y evaluación del estado actual de la estructura, que nos permitirá determinar los parámetros de refuerzo de estructuras.
2. Se aumenta un pórtico adicional en cada estructura de la Escuela Sucre y se aplican tres tipos de reforzamiento: Diagonales de acero, Barras de Pandeo Restringido y Disipadores de energía viscoelásticos.
3. Con los resultados obtenidos se determinara el reforzamiento más óptimo para el funcionamiento de las estructuras ante eventos sísmicos:

-
- [1] M. A. Garzón Vaca, Reforzamiento sísmico de una nave industrial, un coliseo y un teatro, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-244.
- [2] E. P. Ramos Hernández , Reforzamientos de viviendas y piscinas construidas con perfiles de acero en zonas sísmicas, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención de Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-146.
- [3] R. R. Aguiar Falconí y N. Bermeo, «Reforzamiento Sísmico de Naves Industriales con Vigas San Andrés,» *Segundo Encuentro de Investigación Científica desde las Aulas*, pp. 1-31, Febrero 2013.
- [4] A. Emén y P. Rojas, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de Planchas Soldadas, Guayaquil, Guayas: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Litoral, 2009.
- [5] R. Aguiar Falconí, Análisis Sísmico de Edificios, Primera ed., Quito: Centro de Investigaciones Científicas ESPE, 2008, pp. 279-286.
- [6] R. Aguiar Falconí, «Clase 14-07-2012,» ESPE, Sangolquí, 2012.
- [7] A. V. Costa Castro, Análisis Sísmico de Estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos, Sangolquí, Pichincha: Tesis pervio a la obtención del título de Ingeniero Civil de la ESPE, 2007, pp. 1-189.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Refuerzo de Estructuras frente a Sismo

Para el análisis de las estructuras se toma en cuenta la ubicación, y las características tanto de la estructura, como del suelo donde se encuentra la Escuela Sucre que es en el Centro Histórico de Quito. Se analiza de acuerdo al NEC11. "El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, como de amenaza sísmica alta" [8].

4.2. Diagonales de Acero

Las Diagonales de Acero son de acero A36, tiene una densidad de 7860 kg/m³. Para el cálculo se considera con elasticidad de 21000000 ton/m³, y se compone de un perfil cuadrado de 20x20 cm y 5mm de espesor. Se describe a continuación en la Fig. 1 se indica cómo se realizan los reforzamientos con diagonales en pórticos.

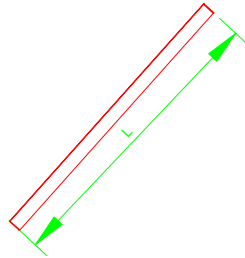


Fig. 1: Diagonales de Acero.

4.3. Barras de Pandeo Restringido BPR

Las Barras de pandeo restringido BPR están compuestas de un perfil tubular cuadrado de 200mm, de lado de 3 mm, de espesor y de longitud $L_1 + 2L_2$, y en los extremos se coloca placas de acero en los cuatro lados del perfil tubular, placas de 3 mm, de espesor. El objetivo es que la zona de probable disipación de energía por histéresis o sea que el pandeo se produzca en la mitad del elemento. La restricción al pandeo puede ser proporcionada por elementos tubulares vacíos o rellenos de concreto. En la Fig. 2 se muestra un esquema de los componentes de estas barras.

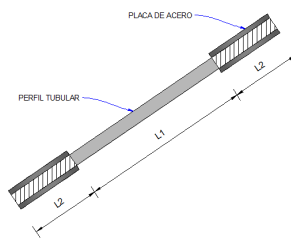


Fig. 2: Barra de pandeo restringido utilizado en un Bloque estructural de la Escuela Sucre.

$$k_e = \frac{E_s}{\frac{L_1}{A_1} + \frac{2L_2}{A_2}} \quad (1)$$

En la que E_s es la elasticidad del acero, L_1 es la longitud de la zona de fluencia y la L_2 es la longitud de refuerzo en los extremos, A_1 es el área de la sección de la zona de fluencia y la A_2 es el área de sección de refuerzo en los extremos incluida el área la sección de la zona de fluencia y k_e es la rigidez elástica. Para el

[8] NEC-11, Norma Ecuatoriana de la Construcción Cáp. 2. Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente, Quito: Decreto Ejecutivo N° 705 del 06 de abril del 2011, 2011.

análisis sísmico se va a trabajar con la rigidez secante para ello, en la Fig. 3 se muestra el comportamiento histerético de la barra de la Fig. 2, con los datos indicados.

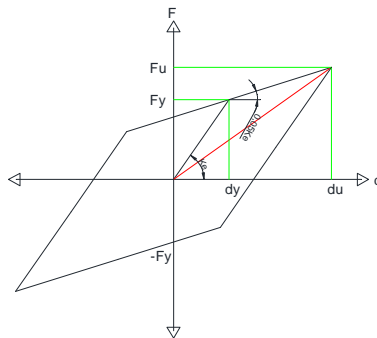


Fig. 3: Comportamiento histerético de BPR.

$$K_e = \frac{F_u}{d_u} \tag{2}$$

Se realiza el cálculo de amortiguamiento equivalente incluyendo los BPR que se utilizan para el reforzamiento en estructuras, en la cual μ es la ductilidad de la BPR, y α es el factor de ángulo en histéresis a considerar.

$$\xi_{eq} = \frac{2 * (\mu - 1) * (1 - \alpha)}{\pi * \mu * (1 + \alpha * \mu - \alpha)} \tag{3}$$

4.4. Disipador Viscoelástico

El disipador de energía viscoelástico está compuesto de 4 perfiles tipo C de 20x7,5cm y de 3mm de espesor soldados con placas de riostra, con goma de 1cm de espesor y perfil tubular cuadrado de 20x20cm y 3mm de espesor. “Se realiza el cálculo del área de corte A_c

$$A_c = 4 * b * L \tag{4}$$

Donde b es el ancho de la goma y L es la longitud de la goma. Se calcula la rigidez del disipador K'

$$K' = \frac{G_a * A_c}{e} \tag{5}$$

Siendo G_a el módulo de corte o también conocido como módulo de almacenamiento de la goma; e es el espesor de la goma.

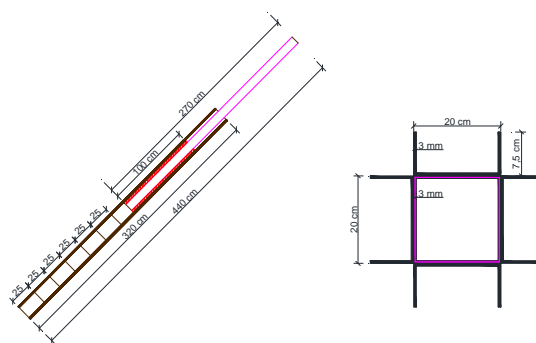


Fig. 4: Disipador: Perfil tubular - perfiles

Se encuentra la rigidez de la diagonal de acero K_d como un material compuesto [5].

[5] R. Aguiar Falconí, Análisis Sísmico de Edificios, Primera ed., Quito: Centro de Investigaciones Científicas ESPE, 2008, pp. 279-286.

$$K_d = \frac{E}{\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2}} \quad (6)$$

“Donde E es el módulo de elasticidad del perfil cajón o del perfil canal; L1, L2 son las longitudes de los perfiles de la placa y del perfil tubular; A1, A2 son las áreas transversales de los perfiles tipo C y del perfil tubular. Se halla la rigidez equivalente Ke' para el conjunto compuesto por la diagonal de acero que tiene rigidez Kd y la goma que tiene rigidez K':

$$\eta_e = \frac{\eta}{1 + \frac{K'}{K_d}(1 + \eta^2)} \quad (7)$$

$$K'_e = \frac{\eta_e(1 + \eta^2)}{\eta(1 + \eta_e^2)} K' \quad (8)$$

Siendo η el factor de pérdida de la goma definido por $\eta = G_p/G_a$, donde Gp es el módulo de pérdida de la goma; η_e es el factor de pérdida equivalente” [5].

$$S_a(T, \beta) = \frac{S_a(T, 5\%)}{B(\beta)} \quad (9)$$

“Donde $S_a(T, 5\%)$, es el espectro para 5 % de amortiguamiento; B(β) factor de reducción por efecto del amortiguamiento (β); $S_a(T, \beta)$ es la ordenada espectral para el amortiguamiento (β). Al amortiguamiento ξ se lo ha denominado con la letra (β)” [6]

Tabla 1: Valores del coeficiente B

Amortiguamiento efectivo β	NEHRP 2000 B
< 0.02	0.80
0.05	1.00
0.10	1.20
0.20	1.50
0.30	1.80
0.40	2.10
0.50	2.40
0.60	2.70
0.70	3.00

5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

5.1 Estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre sin Reforzamiento

Las estructuras a reforzar son de tres pisos, en la primera planta consta de columnas solamente y en los otros dos pisos se encuentran aulas según la Fig. 5 y Fig. 6.

[5] R. Aguiar Falconí, Análisis Sísmico de Edificios, Primera ed., Quito: Centro de Investigaciones Científicas ESPE, 2008, pp. 279-286.

[6] R. Aguiar Falconí, «Clase 14-07-2012,» ESPE, Sangolquí, 2012.



Fig. 5: Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre

Sus columnas son de 0,30 x 0,65m y de 3,20m están separadas cada 3,00m en el sentido longitudinal y en el sentido transversal 6,00m, la losa es de 0,30m de espesor en los tres pisos, además con un volado de 3,00m.

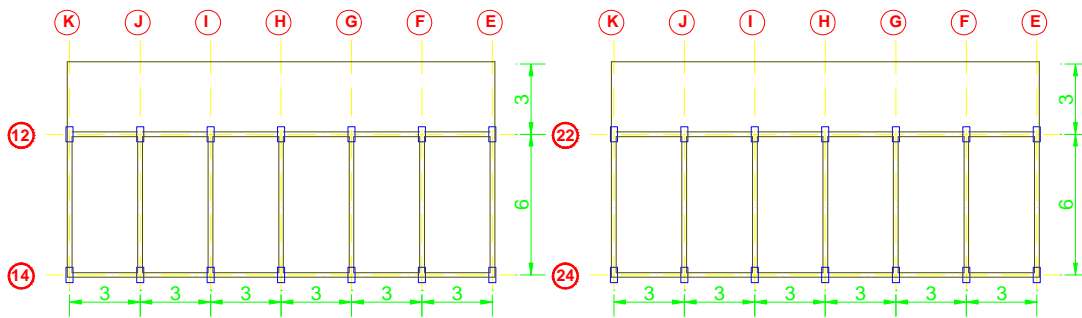


Fig. 6: Planta de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre

Con las respectivas matrices espaciales de masa se realiza en análisis sísmico con los programas de CEINCILAB.

5.2 Estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre reforzadas con Diagonales de Acero

Se aumenta el pórtico 11 del bloque 2, en los cuales se encamisan las columnas donde se sueldan las diagonales de acero, se ubican en el pórtico 11 y 14.

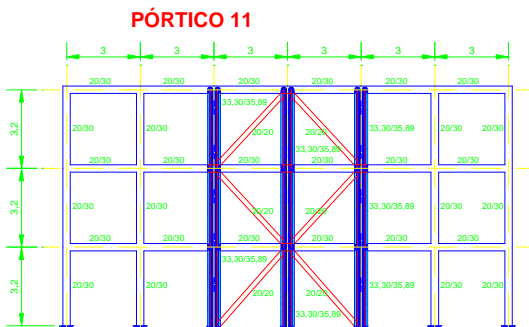


Fig. 7: Reforzamiento con Diagonales de Acero de la estructura del Bloque 2 de la Escuela Sucre

Se aumenta el pórtico 21 del bloque 3, en los cuales se encamisan las columnas donde se sueldan las diagonales de acero, se ubican en el pórtico 21 y 24.

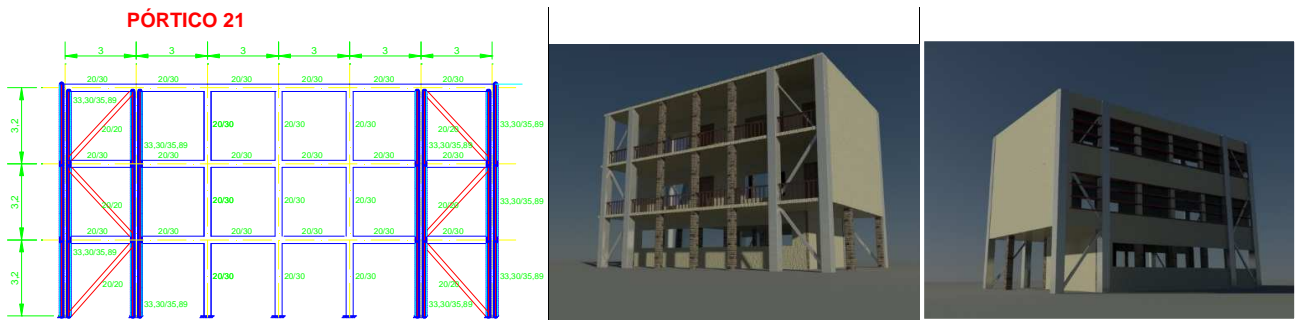


Fig. 8: Reforzamiento con Diagonales de Acero de la estructura del Bloque 3 de la Escuela Sucre

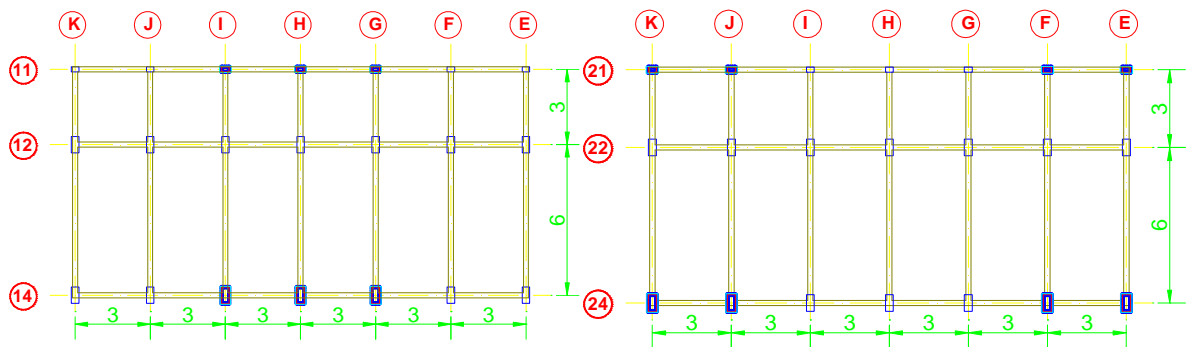


Fig. 9: Planta de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre

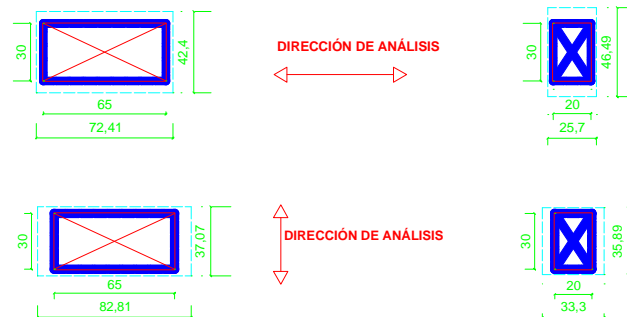


Fig. 10: Dimensiones equivalentes de columnas encamisadas de placas de acero según sentido de análisis.

5.3 Estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre reforzadas con BPR

Se realiza el reforzamiento con Barras de Pandeo Restringido BPR, con las mismas configuraciones de reforzamiento de las Diagonales de Acero en las estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre.

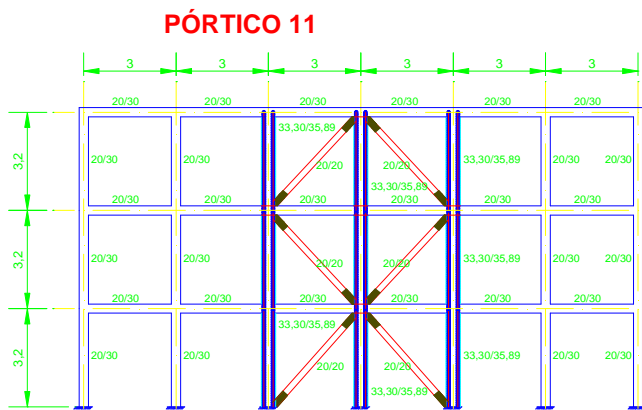


Fig. 11: Reforzamiento con BPR de la estructura del Bloque 2 de la Escuela Sucre

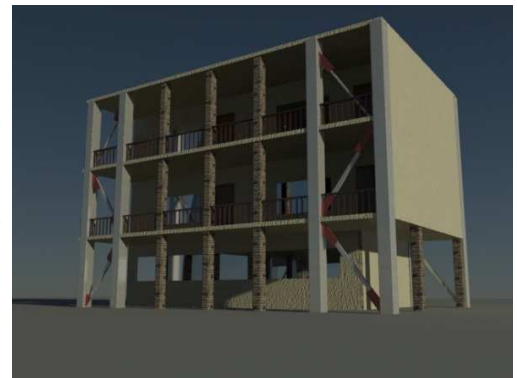
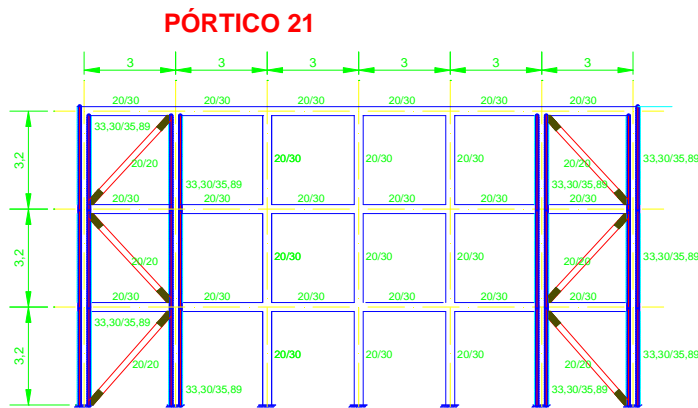


Fig. 12: Reforzamiento con BPR de la estructura del Bloque 3 de la Escuela Sucre

5.4 Estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre reforzadas con Disipadores de Energía Viscoelásticos

Se realiza el reforzamiento de las estructuras con Disipadores Viscoelásticos en las estructuras de los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre.

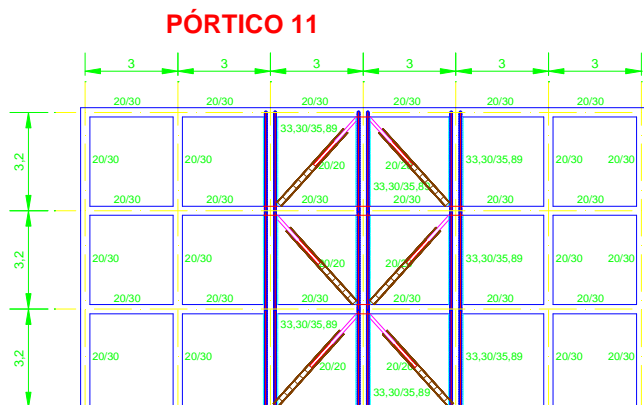


Fig. 13: Reforzamiento con Disipadores Viscoelásticos de la estructura del Bloque 2 de la Escuela Sucre

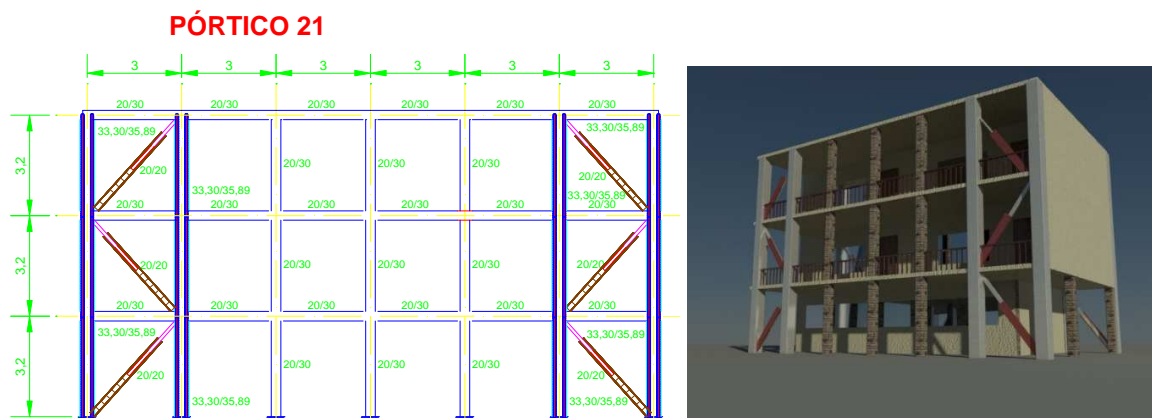


Fig. 14: Reforzamiento con Disipadores Viscoelásticos de la estructura del Bloque 3 de la Escuela Sucre

6 RESULTADOS

Para determinar la efectividad del tipo de reforzamiento en los Bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre, se empleó los siguientes parámetros:

1. La deriva de piso, la cual se comparó con la máxima deriva establecida por el código NEC11. Para este tipo de edificaciones a base de pórticos de hormigón armado la máxima deriva establecida por el NEC11 es 1%.
2. El coeficiente obtenido de dividir la excentricidad para la dimensión en planta del entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada, según recomienda el NTDS del RCDF (2004) [9], según la cual:
 Si e_x/A ó $e_y/B < 0,1$ la estructura se considera regular
 Si $0,1 < e_x/A$ ó $e_y/B < 0,2$ la estructura se considera irregular
 Si e_x/A ó $e_y/B > 0,2$ la estructura se considera fuertemente irregular
 Donde:

e_x ; es el valor de excentricidad medida entre el centro de Rigidez y el centro de masas en el sentido longitudinal de la planta a analizar.

e_y ; es el valor de excentricidad medida entre el centro de Rigidez y el centro de masas en el sentido transversal de la planta a analizar.

A; es el valor de dimensión en el sentido longitudinal de la planta a analizar.

B; es el valor de dimensión en el sentido transversal de la planta a analizar.

La Fig. 15 nos aclara los términos indicados:

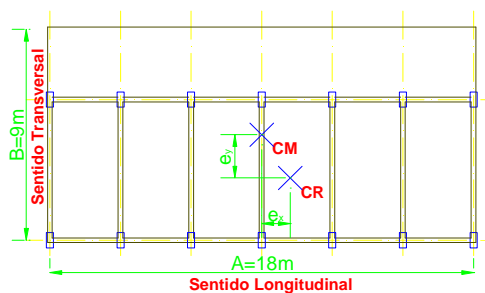


Fig. 15: Ubicación de centro de rigidez en planta.

[9] Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS) de Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) de México, «Norma Técnica para Diseño por Sismo,» de *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, México D.F., Gaceta Oficial del D.F. México, 2004, pp. 63-65.

Este coeficiente toma en cuenta la excentricidad en planta y por lo tanto, permite evaluar el efecto de torsión en la estructura.

Se presentan los resultados en base a los parámetros de derivas de piso, excentricidad y factor de excentricidad para comparación de las estructuras de la Escuela Sucre sin reforzar y con reforzamientos con Diagonales de acero, BPR y Disipadores Viscoelásticos en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Resultados de reforzamientos de las Estructuras de la Escuela Sucre

REFORZAMIENTO	DERIVA MÁXIMA DE PISO							
	Longitudinal				Transversal			
	BLOQUE 2		BLOQUE 3		BLOQUE 2		BLOQUE 3	
SIN REFORZAMIENTO	1,67%		0,81%		1,06%		1,28%	
DIAGONAL DE ACERO	0,57%		0,42%		0,53%		0,48%	
BPR	0,48%		0,45%		0,40%		0,37%	
DISIPADORES VISCOELÁSTICOS	0,83%		0,57%		0,42%		0,34%	

REFORZAMIENTO	EXCENTRICIDAD Y FACTOR DE EXCENTRICIDAD							
	BLOQUE 2				Bloque 3			
	Longitudinal		Transversal		Longitudinal		Transversal	
	e_x	e_x/A	e_y	e_y/B	e_x	e_x/A	e_y	e_y/B
SIN REFORZAMIENTO	0,00	0,000	1,50	0,167	0,33	0,018	2,43	0,270
DIAGONAL DE ACERO	0,00	0,000	0,15	0,017	0,26	0,014	0,62	0,069
BPR	0,00	0,000	0,32	0,036	0,26	0,014	0,91	0,101
DISIPADORES VISCOELÁSTICOS	0,00	0,000	0,37	0,041	0,26	0,014	1,10	0,122

7 TRABAJOS RELACIONADOS

- Reforzamiento sísmico de una nave industrial, un coliseo y un teatro [1]
- Reforzamientos de viviendas y piscinas construidas con perfiles de acero en zonas sísmica [2]
- Reforzamiento Sísmico de Naves Industriales con Vigas San Andrés [3]
- Análisis, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de Planchas Soldadas [4].
- Análisis Sísmico de estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos [7].

-
- [1] M. A. Garzón Vaca, Reforzamiento sísmico de una nave industrial, un coliseo y un teatro, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-244.
- [2] E. P. Ramos Hernández , Reforzamientos de viviendas y piscinas construidas con perfiles de acero en zonas sísmicas, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención de Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-146.
- [3] R. R. Aguiar Falconí y N. Bermeo, «Reforzamiento Sísmico de Naves Industriales con Vigas San Andrés,» *Segundo Encuentro de Investigación Científica desde las Aulas*, pp. 1-31, Febrero 2013.
- [4] A. Emén y P. Rojas, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de Planchas Soldadas, Guayaquil, Guayas: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Litoral, 2009.
- [7] A. V. Costa Castro, Análisis Sísmico de Estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos, Sangolquí, Pichincha: Tesis pervio a la obtención del título de Ingeniero Civil de la ESPE, 2007, pp. 1-189.

8 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- El efecto anotado para los disipadores Viscoelásticos, en estas estructuras, se debe a que el amortiguamiento equivalente para este tipo de disipadores es obtenido a través de la relación entre la frecuencia de la estructura con disipadores y la frecuencia natural de la estructura original, siendo que en ésta última, no se contempla todavía la colaboración de la rigidez del pórtico adicional (pórticos 11 del bloque 2 y 21 del bloque 3 de la Escuela Sucre), por lo que se requiere investigar alguna otra manera de cálculo para poder ver las bondades de este tipo de reforzamiento.
- El valor del periodo en los reforzamientos con diagonales de acero y con BPR tenemos valores similares, mientras que con el reforzamiento con disipadores viscoelásticos sube entre 8% y 18% en las estructuras de los bloques 2 y 3.
- A las estructuras de los bloques 2 y 3 de la Escuela Sucre se les ha realizado un reforzamiento mixto, en el que se añade un pórtico y se combina con reforzamientos de diagonales de acero, BPR o viscoelásticas, de lo cual se puede deducir que el segundo reforzamiento en base a BPR, es el más adecuado tomando en cuenta las derivas de piso a 0,48% en el bloque 2 y en el bloque 3 de 0,45%. La necesidad de corregir los efectos de torsión, mediante la colocación de los pórticos 11 y 21 en los bloques 2 y 3 respectivamente, le dió más rigidez a la estructura, y resulto favorable pues hace que se disminuyan las excentricidades en cada estructura analizada.
- Se recomienda utilizar la configuración de reforzamiento que se refiere a colocar las diagonales de acero, BPR y los disipadores viscoelásticos de los extremos de los pórticos longitudinales 11 y 14 del bloque 3 en la estructura del bloque 2 de la Escuela Sucre, debido a que nos ayuda a disminuir aún más la deriva de piso por ejemplo en el caso de BPR tenemos de 0,40% y de coeficiente de excentricidad 0,036.
- Siempre que se realice algún reforzamiento en la estructura, se debe también reforzar la cimentación por el peso que se aumenta en la estructura.

9 AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Roberto Aguiar F. y al Ing. Msc. Manuel Cando por permitir la presente investigación, por la buena Fe que tuvieron al ayudarme en el tema de Reforzamientos de Estructuras.

10 Bibliografía

- [1] M. A. Garzón Vaca, Reforzamiento sísmico de una nave industrial, un coliseo y un teatro, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-244.
- [2] E. P. Ramos Hernández, Reforzamientos de viviendas y piscinas construidas con perfiles de acero en zonas sísmicas, Sangolquí, Pichincha: Tesis para la obtención de Título de Ingeniería Civil de la ESPE, 2012, pp. 1-146.
- [3] R. R. Aguiar Falconí y N. Bermeo, «Reforzamiento Sísmico de Naves Industriales con Vigas San Andrés,» *Segundo Encuentro de Investigación Científica desde las Aulas*, pp. 1-31, Febrero 2013.
- [4] A. Emén y P. Rojas, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de Planchas Soldadas, Guayaquil, Guayas: Tesis para la obtención del Título de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Litoral, 2009.
- [5] R. Aguiar Falconí, Análisis Sísmico de Edificios, Primera ed., Quito: Centro de Investigaciones Científicas ESPE, 2008, pp. 279-286.
- [6] R. Aguiar Falconí, «Clase 14-07-2012,» ESPE, Sangolquí, 2012.

- [7] A. V. Costa Castro, Análisis Sísmico de Estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos, Sangolquí, Pichincha: Tesis pervio a la obtención del título de Ingeniero Civil de la ESPE, 2007, pp. 1-189.
- [8] NEC-11, Norma Ecuatoriana de la Construcción Cáp. 2. Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente, Quito: Decreto Ejecutivo N° 705 del 06 de abril del 2011, 2011.
- [9] Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS) de Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) de México, «Norma Técnica para Diseño por Sismo,» de *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, México D.F., Gaceta Oficial del D.F. México, 2004, pp. 63-65.