



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**CONTROL DEL EFECTO DE TORSIÓN EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO
MODIFICANDO LA GEOMETRÍA DE COLUMNAS ESQUINERAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Daniel Alejandro Cobo Mosquera
David Alejandro Sunta Barzallo
TUTOR: José Domingo Alviar Malabet

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Daniel Alejandro Cobo Mosquera con documento de identificación N° 1726324047 y David Alejandro Sunta Barzallo con documento de identificación N° 1725505760; manifestamos que:

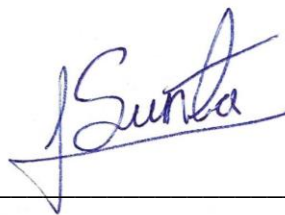
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de julio del 2023

Atentamente,



Daniel Alejandro Cobo Mosquera
1726324047



David Alejandro Sunta Barzallo
1725505760

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Daniel Alejandro Cobo Mosquera con documento de identificación N° 1726324047 y David Alejandro Sunta Barzallo con documento de identificación N° 1725505760; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Control del efecto de torsión en Pórticos de Hormigón Armado modificando la geometría de Columnas esquineras”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de julio del 2023

Atentamente,



Daniel Alejandro Cobo Mosquera

1726324047



David Alejandro Sunta Barzallo

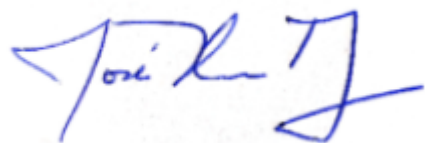
1725505760

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Domingo Alviar Malabet con documento de identificación N° 1757837602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONTROL DEL EFECTO DE TORSIÓN EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO MODIFICANDO LA GEOMETRÍA DE COLUMNAS ESQUINERAS, realizado por Daniel Alejandro Cobo Mosquera con documento de identificación N° 1726324047 y por David Alejandro Sunta Barzallo con documento de identificación N° 1725505760, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. José Domingo Alviar Malabet, PhD.

1757837602

CONTROL DEL EFECTO DE TORSIÓN EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO MODIFICANDO LA GEOMETRÍA DE COLUMNAS ESQUINERAS

CONTROL OF THE EFFECT OF TORSION IN REINFORCED CONCRETE FRAMES BY MODIFYING THE GEOMETRY OF CORNER COLUMNS

Daniel Cobo-Mosquera¹, David Sunta-Barzallo², José Alviar-Malabet³

Resumen

La torsión es un problema generado en estructuras que presentan irregularidad en planta o elevación, debido a la excentricidad existente entre sus centros de masa y rigidez. Se plantea un modelo de 4 y 8 pisos en las ciudades de Esmeraldas y Quito mediante la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC15), en los cuales se analizará la distancia existente entre sus centros de rigidez y centro de masa, el parámetro de irregularidad de los diafragmas en la estructura y la participación modal. Partiendo de un modelo base con columnas rectangulares y realizando modificaciones de las columnas con una geometría tipo L simétricas planteadas en las esquinas y bordes de la estructura, se cuantificó su comportamiento.

Obteniendo una reducción en la excentricidad, sin embargo, no cumple con requerimientos de diseño establecidos en la normativa para hacer a la estructura regular considerando únicamente el cambio en la geometría de las columnas, por lo tanto, se incorporó en el estudio el uso de muros de corte, controlando en este caso el efecto de torsión y la rotación generada.

Palabras Clave: Excentricidad, irregularidad, torsión, ETABS, NEC15, diafragmas.

Abstract

Torsion is a problem generated in structures that present irregularity in plan or elevation, due to the existing eccentricity between their centers of mass and stiffness. A model of 4 and 8 stories in the cities of Esmeraldas and Quito is proposed using the Ecuadorian construction standard (NEC15), in which the existing distance between their centers of stiffness and center of mass, the parameter of irregularity of the diaphragms in the structure and the modal participation will be analyzed.

Starting from a base model with rectangular columns and making modifications to the columns with a symmetrical L-type geometry at the corners and edges of the structure, their behavior was quantified.

A reduction in eccentricity was obtained, however, it does not comply with the design requirements established in the standards to make the structure regular considering only the change in the geometry of the columns, therefore, the use of shear walls was incorporated in the study, controlling in this case the effect of torsion and the rotation generated.

Keywords: Eccentricity, irregularity, torsion, ETABS, NEC15, diaphragms.

¹Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito -Ecuador.

²Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito -Ecuador.

³Docente – Universidad Politécnica Salesiana – Quito -Ecuador.

Autores por correspondencia: dcobom@est.ups.edu.ec¹ – dsunta@est.ups.edu.ec² - jalviar@ups.edu.ec³

1. Introducción

Con el pasar de los años se ha enfatizado en diseñar estructuras sismo-resistentes debido a los precedentes en el país, en el que se han producido pérdidas de vidas humanas y cuantiosas pérdidas económicas, lo que conlleva a la implementación de técnicas y métodos constructivos que minimicen los efectos del sismo, siendo la torsión el efecto a evaluar, debido a que es una de las causas de la falla en estructuras.

1.1. Excentricidad

De los análisis realizados por Chopra [1] en su libro “Dinámica de estructuras” se conoce la relación existente entre las variables de centro de masa y centro de rigidez de los elementos verticales como fuente de control para los desplazamientos en los sentidos ortogonales a la torsión. Relacionando estos conceptos se establece los factores principales para que se desarrolle la torsión, además de una alternativa para contrarrestarla.

Para la determinación de las excentricidades es necesario conocer los conceptos de centro de masa y centro de rigidez. Centro de masa se define el punto donde se concentra el peso del cuerpo. Mientras el centro de rigidez, Zúñiga [2] lo denomina como “el punto donde al aplicar una fuerza lateral el elemento se traslada y no rota”. Conociendo los conceptos ya mencionados se puede definir a la excentricidad natural como la diferencia entre estos dos puntos de referencia.

Complementando el tema mencionado por Gálvez [3] y Medina [5], la excentricidad accidental es el desplazamiento del entrepiso debido a una fuerza cortante, provocado por un supuesto momento torsor adicional, el cual involucra torsiones inducidas por mala distribución de la mampostería, además de la falta de ejes paralelos en la estructura.

1.2. Irregularidad

En el análisis del factor de irregularidad torsional en la NEC15 [4], establece: Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.

1.3. Participación modal

Para determinar si el desplazamiento que se origina en el análisis modal es de forma traslacional o rotacional, en la referencia de Medina [5] se indica que este efecto ocurre cuando la relación entre R_z y el mayor entre U_x y U_y es menor al 30%.

Este análisis se lo debe realizar en los dos primeros modos. Medina [5] establece que las fuerzas sísmicas presentan mayor magnitud en dichos modos pues los porcentajes de participación de la masa pueden alcanzar valores cercanos al 80%.

2. Materiales y Métodos

El análisis realizado parte de una configuración arquitectónica ya existente Figura 1.

Para el desarrollo se plantea la realización de un modelo, al que se le realizó cuatro propuestas que parten del modelo base además de un área similar en las columnas de dimensiones modificadas, considerado como espesor mínimo de columna treinta centímetros, tomando como principio de diseño la normativa NEC15 [4] y ACI [6].

De esta forma se realizará la comparación de los lineamientos establecidos anteriormente arrojados en el software de diseño ETABS para las distintas propuestas estudiadas.

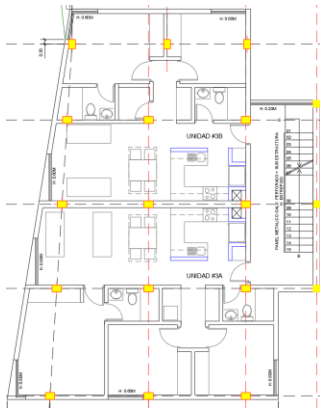


Figura 1. Vista en planta plano arquitectónico

2.0.1. Análisis espectral

En el análisis dinámico se elaboró el espectro de diseño para cada ciudad, utilizando los siguientes parámetros mostrados en las tablas 1 y 2 para Quito y Esmeraldas respectivamente.

Tabla 1: Coeficientes de diseño espectral en Quito

Parámetro	Detalle	Coefficiente
Coefficiente de importancia	Otras estructuras	1
ϕ_p , irregularidad en planta	Irregular	0.9
ϕ_e , irregularidad en elevación	Regular	1
Factor de reducción sísmica	Pórtico resistente a momento	8
Tipo de suelo		D
Coefficiente de amplificación	Provincias de la Sierra, Esmeraldas	2.48
Coefficiente de aceleración	Pichincha	0.4 g

Tabla 2: Coeficientes de diseño espectral en Esmeraldas

Parámetro	Detalle	Coefficiente
Coefficiente de importancia	Otras estructuras	1
ϕ_p , irregularidad en planta	Irregular	0.9
ϕ_e , irregularidad en elevación	Regular	1
Factor de reducción sísmica	Pórtico resistente a momento	8
Tipo de suelo		D
Coefficiente de amplificación	Provincias de la Sierra, Esmeraldas	2.48
Coefficiente de aceleración	Esmeraldas	0.5 g

Los modelos fueron diseñados con el espectro inelástico, en el cual se toma en cuenta el factor de reducción R y los factores de irregularidad en planta y elevación, pero conservando la aceleración inicial, que tendrá la misma magnitud que el espectro elástico, como se observa en la Figura 2 y 3 en Quito y Esmeraldas respectivamente al considerar que para el periodo cero la estructura es rígida y se mueve solidariamente con el terreno.

Pillasagua [7] “La fuerza total de diseño por carga lateral, aplicada en la base de la estructura, siendo esta el resultado de la acción del sismo de diseño”, se calcula como un porcentaje del peso de la estructura, el cual se lo resuelve por medio de factores sísmicos, que dependen de la zona.

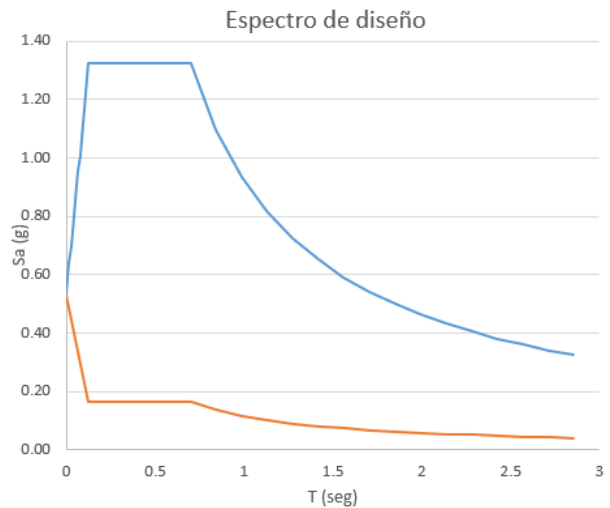


Figura 2. Espectro de diseño para Quito

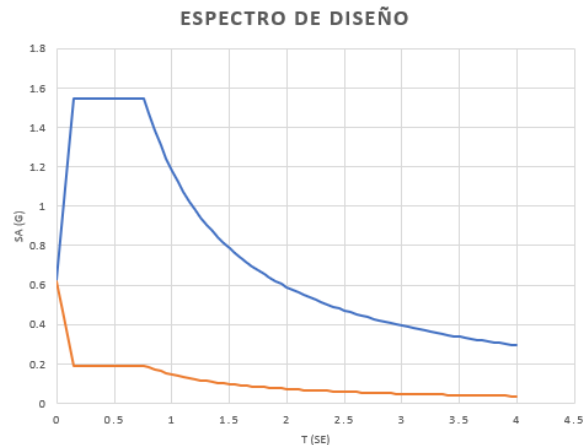


Figura 3. Espectro de diseño para Esmeraldas

La diferencia en los espectros radica en el coeficiente de aceleración, usando como coeficiente en Quito de 0.4 g mientras que en Esmeraldas de 0.5 g.

2.0.2. Determinación de excentricidad

El cálculo de la excentricidad se determinó con la diferencia del centro de masa respecto del centro de rigidez y relacionado con la longitud total del sentido por analizar x, y.

2.1. Modelo base

La configuración estructural en el modelo consta en la Tabla 3.

Tabla 3: Dimensiones de elementos estructurales modelo base

Unidades en cm	Quito		Esmeraldas	
	4 pisos	8 pisos	4 pisos	8 pisos
Vigas	30x45	30x55	35x50	35x50
Columnas	45x60	55x85	45x60	55x85

Tomando en cuenta los parámetros de diseño de la normativa ecuatoriana de la construcción se obtuvo las siguientes dimensiones, cuyas propiedades mecánicas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de columnas modelo base

Unidades en m	Quito		Esmeraldas	
	4 pisos	8 pisos	4 pisos	8 pisos
Área	0.27	0.468	0.27	0.468
Inercia x-x	0.0081	0.028	0.0081	0.028
Inercia y-y	0.00456	0.011	0.00456	0.011

La distribución de columnas fue realizada como se muestra en la Figura 4, proporcionando su mayor inercia en sentido x-x, con la finalidad de aportar rigidez debido al análisis de las derivas máximas establecidas, al ser un pórtico resistente a momento de hormigón armado, su deriva máxima inelástica permisible es de 0.02.

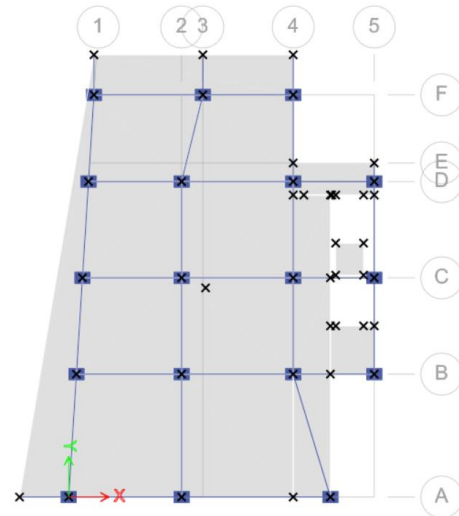


Figura 4. Vista en planta modelo base

2.2. Propuesta columnas esquineras

En esta propuesta se mantendrán las mismas columnas del modelo base a excepción de las esquineras como se muestra en la Figura 5, en los modelos de 4 y 8 pisos en Quito y Esmeraldas.

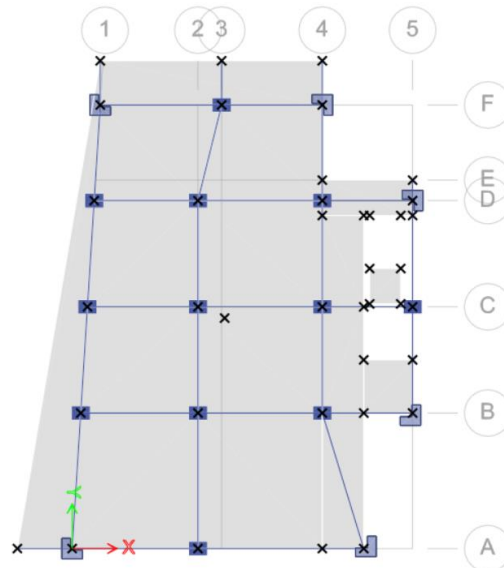


Figura 5. Vista en planta de propuesta en columnas esquineras.

Las dimensiones de las columnas tipo L para los distintos modelos realizados se presentan en la Tabla 5, además de sus propiedades mecánicas en la Tabla 6, considerando la configuración planteada en la Figura 6. Considerando el análisis de Gómez [8] y Florín [9] las fuerzas sísmicas que actúan en la estructura toman relación con la inercia y rigidez en los sentidos ortogonales.

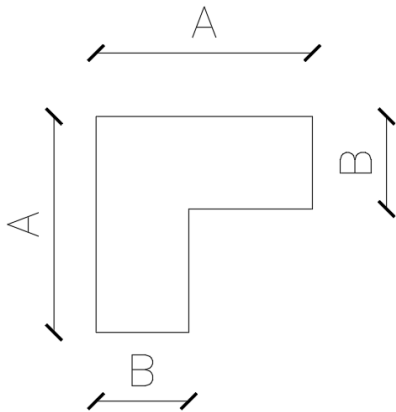


Figura 6. Columna tipo L

Tabla 5: Dimensiones de columnas tipo L propuesta columnas esquineras

Unidades en m	Quito		Esmeraldas	
	4 pisos	8 pisos	4 pisos	8 pisos
Dimensión A	0.7	0.9	0.7	0.9
Dimensión B	0.3	0.3	0.3	0.35

Tabla 6: Propiedades mecánicas de columnas propuesta columnas esquineras

Unidades en m	Quito		Esmeraldas	
	4 pisos	8 pisos	4 pisos	8 pisos
Área	0.33	0.45	0.33	0.51
Inercia x-x	0.0125	0.0293	0.0125	0.0323
Inercia y-y	0.0125	0.0293	0.0125	0.0323

2.3. Propuesta columnas de borde

En esta segunda propuesta se usarán las columnas tipo L presentadas anteriormente (esquineras), conjuntamente con columnas de borde tipo L y manteniendo las columnas internas del modelo original, tal y como se presenta en la Figura 7.

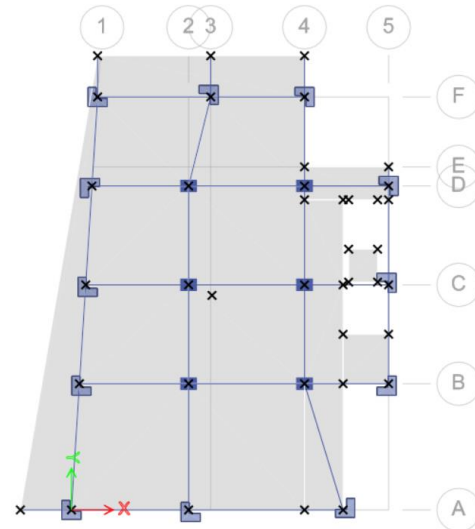


Figura 7. Vista en planta propuesta columnas de borde.

2.4. Propuesta de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa

La tercera propuesta planteada, surge de la idea de aumentar la rigidez en zonas estratégicas, con la finalidad de mover el centro de rigidez a un punto cercano al de masa, reduciendo así la excentricidad generada de los dos centros.

En este análisis se planteo colocar las columnas tipo L mencionadas anteriormente en los bordes opuestos a las gradas, debido a que estas generan que el centro de rigidez se desplace al lugar dispuesto y se acerque al centro de masa, tal como se muestra en la Figura 8.

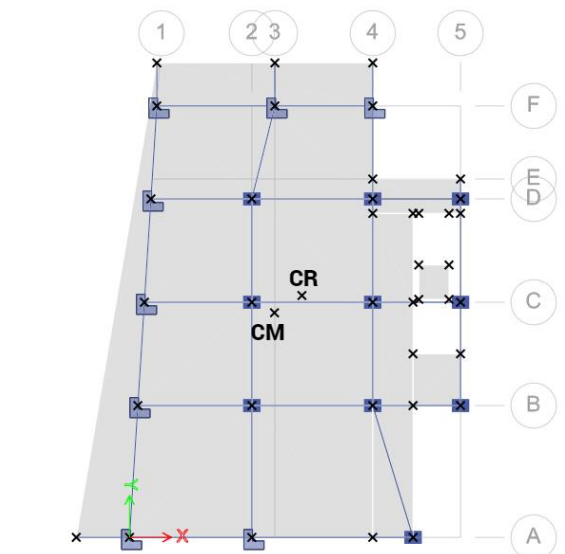


Figura 8. Vista en planta propuesta rigidez acoplada

3. Resultados y Discusión

3.1. Excentricidades

A partir de las propuestas realizadas se presenta el análisis de sus respectivos porcentajes de excentricidad correspondiente a cada piso para los modelos descritos desde la Tabla 7 a la 10.

Tabla 7: Porcentaje de excentricidad de modelo 4 pisos en Quito

Modelo	# pisos	Excentricidad en x	Excentricidad en y
Modelo base	Piso1	14.79%	2.53%
	Piso2	13.65%	3.29%
	Piso3	12.91%	3.67%
	Piso4	10.93%	2.18%
Propuesta columnas esquineras	Piso1	14.27%	2.54%
	Piso2	13.06%	3.30%
	Piso3	12.28%	3.72%
	Piso4	10.59%	2.16%
Propuesta columnas de borde	Piso1	11.19%	2.63%
	Piso2	10.92%	3.41%
	Piso3	10.60%	3.85%
	Piso4	8.94%	2.36%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	8.74%	2.93%
	Piso2	9.81%	3.53%
	Piso3	10.04%	3.86%
	Piso4	8.39%	2.46%

Tabla 8: Porcentaje de excentricidad de modelo 4 pisos en Esmeraldas

Modelo	# Pisos	Excentricidad en x	Excentricidad en y
Modelo base	Piso1	12.6%	2.37%
	Piso2	11.43%	3.08%
	Piso3	10.78%	3.39%
	Piso4	7.73%	3.66%
Propuestas columnas esquineras	Piso1	12.39%	2.38%
	Piso2	11.06%	3.11%
	Piso3	10.35%	3.46%
	Piso4	7.48%	3.76%
Propuestas columnas de Borde	Piso1	8.99%	2.5%
	Piso2	8.56%	3.26%
	Piso3	8.27%	3.63%
	Piso4	5.42%	3.97%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	5.87%	2.85%
	Piso2	6.9%	3.4%
	Piso3	7.15%	3.67%
	Piso4	4.37%	4.01%

Tabla 9: Porcentaje de excentricidad de modelo 8 pisos en Quito

Modelo	# Pisos	Excentricidad en X	Excentricidad en Y
Modelo base	Piso1	9.44%	2.28%
	Piso2	8.77%	2.92%
	Piso3	8.23%	3.30%
	Piso4	7.82%	3.52%
	Piso5	7.52%	3.65%
	Piso6	7.29%	3.75%
	Piso7	7.35%	3.84%
	Piso8	5.33%	4.10%
Propuestas columnas esquineras	Piso1	10.15%	2.35%
	Piso2	9.15%	2.98%
	Piso3	8.49%	3.35%
	Piso4	8.03%	3.58%
	Piso5	7.71%	3.72%
	Piso6	7.46%	3.83%
	Piso7	7.48%	3.93%
	Piso8	5.41%	4.20%
Propuestas columnas de borde	Piso1	6.68%	2.46%
	Piso2	6.67%	3.07%
	Piso3	6.52%	3.45%
	Piso4	6.33%	3.68%
	Piso5	6.16%	3.83%
	Piso6	6%	3.94%
	Piso7	6.10%	4.05%
	Piso8	4.20%	4.33%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	2.60%	2.75%
	Piso2	4.17%	3.29%
	Piso3	4.76%	3.62%
	Piso4	4.95%	3.81%
	Piso5	4.97%	3.94%
	Piso6	4.94%	4.04%
	Piso7	5.17%	4.13%
	Piso8	3.39%	4.39%

Tabla 10: Porcentaje de excentricidad de modelo 8 pisos en Esmeraldas

Modelo	# Pisos	Excentricidad en x	Excentricidad en Y
Modelo Base	Piso1	8.76%	2.31%
	Piso2	8.18%	2.94%
	Piso3	7.70%	3.31%
	Piso4	3.60%	3.00%
	Piso5	3.31%	3.13%
	Piso6	3.07%	3.23%
	Piso7	3.11%	3.29%
	Piso8	3.29%	3.62%
Propuestas Columnas Esquineras	Piso1	9.26%	2.41%
	Piso2	8.35%	3.02%
	Piso3	7.74%	3.39%
	Piso4	3.60%	3.09%
	Piso5	3.28%	3.23%
	Piso6	3.02%	3.33%
	Piso7	3.02%	3.39%
	Piso8	3.21%	3.74%
Propuestas Columnas de Borde	Piso1	6.66%	2.48%
	Piso2	6.59%	3.09%
	Piso3	6.40%	3.46%
	Piso4	2.45%	3.17%
	Piso5	2.25%	3.31%
	Piso6	2.07%	3.42%
	Piso7	2.13%	3.49%
	Piso8	2.30%	3.86%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	3.50%	2.58%
	Piso2	4.73%	3.15%
	Piso3	5.15%	3.50%
	Piso4	1.49%	3.19%
	Piso5	1.44%	3.32%
	Piso6	1.37%	3.42%
	Piso7	1.54%	3.49%
	Piso8	1.74%	3.88%

El comportamiento del modelo base con respecto a las propuestas realizadas las podemos cuantificar mediante la diferencia del porcentaje de sus excentricidades mostradas anteriormente para cada piso analizado, mostrado desde la Tabla 11 a la 14.

Tabla 11: Variación del porcentaje de excentricidad en Quito 4 pisos

Modelo	# pisos	Variación en x	Variación en y
Propuesta columnas esquineras	Piso1	0.53%	-0.01%
	Piso2	0.59%	-0.01%
	Piso3	0.63%	-0.04%
	Piso4	0.34%	0.02%
Propuesta columnas de borde	Piso1	3.60%	-0.10%
	Piso2	2.73%	-0.12%
	Piso3	2.31%	-0.18%
	Piso4	1.99%	-0.17%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	6.05%	-0.4%
	Piso2	3.84%	-0.24%
	Piso3	2.87%	-0.19%
	Piso4	2.54%	-0.27%

Tabla 12: Variación del porcentaje de excentricidad en Esmeraldas 4 pisos

Modelo	# Pisos	Variación en X	Variación en Y
Propuestas Columnas Esquineras	Piso 1	0.21%	-0.02%
	Piso 2	0.37%	-0.03%
	Piso 3	0.43%	-0.07%
	Piso 4	0.24%	-0.10%
Propuestas Columnas de Borde	Piso 1	3.62%	-0.14%
	Piso 2	2.87%	-0.18%
	Piso 3	2.51%	-0.25%
	Piso 4	2.31%	-0.31%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso 1	6.73%	-0.48%
	Piso 2	4.53%	-0.33%
	Piso 3	3.62%	-0.29%
	Piso 4	3.36%	-0.35%

Los resultados que se pueden observar con signo positivo reflejan la reducción que existió del porcentaje de excentricidad original del modelo base analizado, mientras los valores con signos negativos muestran un incremento respecto al valor inicial. De Cisneros [10] “En edificios de varios pisos las fuerzas cortantes son la acumulación de las fuerzas sísmicas arriba del piso considerado” De esta manera se verifica la relevancia de realizar el análisis de dos modelos con diferentes números de pisos.

Tabla 13: Variación del porcentaje de excentricidad en Quito 8 pisos

Modelo	# Pisos	Variación en x	Variación en y
Propuestas Columnas Esquineras	Piso1	-0.70%	-0.07%
	Piso2	-0.38%	-0.06%
	Piso3	-0.26%	-0.05%
	Piso4	-0.21%	-0.06%
	Piso5	-0.19%	-0.07%
	Piso6	-0.17%	-0.08%
	Piso7	-0.14%	-0.09%
	Piso8	-0.07%	-0.10%
Propuestas Columnas de Borde	Piso1	2.76%	-0.18%
	Piso2	2.10%	-0.15%
	Piso3	1.71%	-0.15%
	Piso4	1.49%	-0.16%
	Piso5	1.36%	-0.18%
	Piso6	1.29%	-0.19%
	Piso7	1.25%	-0.21%
	Piso8	1.14%	-0.24%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso1	6.84%	-0.47%
	Piso2	4.6%	-0.37%
	Piso3	3.47%	-0.32%
	Piso4	2.88%	-0.30%
	Piso5	2.56%	-0.29%
	Piso6	2.35%	-0.29%
	Piso7	2.17%	-0.29%
	Piso8	1.94%	-0.29%

Tabla 14: Variación del porcentaje de excentricidad en Esmeraldas 8 pisos

Modelo	# Pisos	Variación en X	Variación en Y
Propuestas Columnas Esquineras	Piso 1	-0.50%	-0.10%
	Piso 2	-0.18%	-0.08%
	Piso 3	-0.04%	-0.07%
	Piso 4	0.01%	-0.09%
	Piso 5	0.03%	-0.10%
	Piso 6	0.05%	-0.10%
	Piso 7	0.09%	-0.10%
	Piso 8	0.08%	-0.12%
Propuestas Columnas de Borde	Piso 1	2.10%	-0.18%
	Piso 2	1.59%	-0.15%
	Piso 3	1.30%	-0.15%
	Piso 4	1.16%	-0.17%
	Piso 5	1.06%	-0.18%
	Piso 6	1.01%	-0.19%
	Piso 7	0.99%	-0.20%
	Piso 8	0.99%	-0.24%
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	Piso 1	5.25%	-0.27%
	Piso 2	3.45%	-0.22%
	Piso 3	2.55%	-0.19%
	Piso 4	2.12%	-0.19%
	Piso 5	1.86%	-0.19%
	Piso 6	1.71%	-0.19%
	Piso 7	1.58%	-0.19%
	Piso 8	1.55%	-0.25%

3.2. Coeficiente de irregularidad

La normativa ecuatoriana establece que se considera una estructura irregular cuando su coeficiente de irregularidad analizada las derivas promedio de cada piso es mayor a 1.2.

En el software de diseño estructural ETABS se obtuvo para cada tipo de propuesta el comportamiento de la estructura frente a este parámetro de análisis. En las Figuras 9 a 12 están representados estos coeficientes de irregularidad con respecto a los diseños presentados.

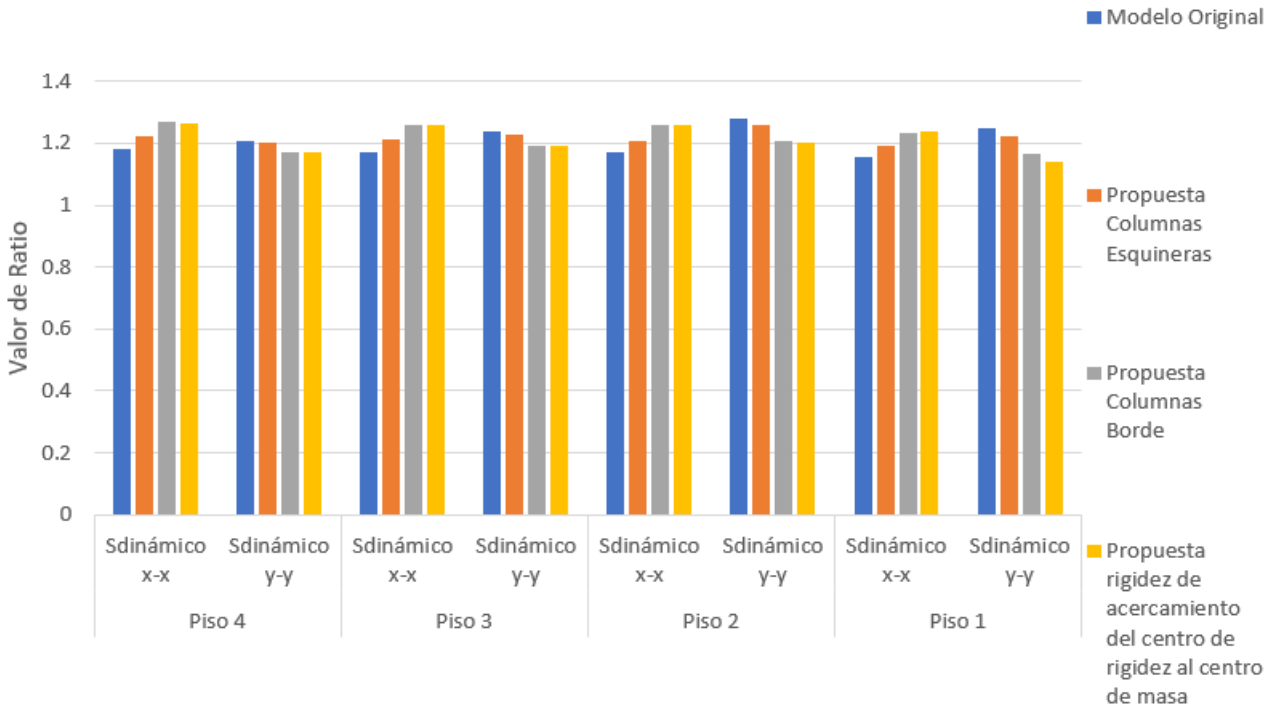


Figura 9. Coeficientes de irregularidad de la ciudad de Quito con 4 pisos.

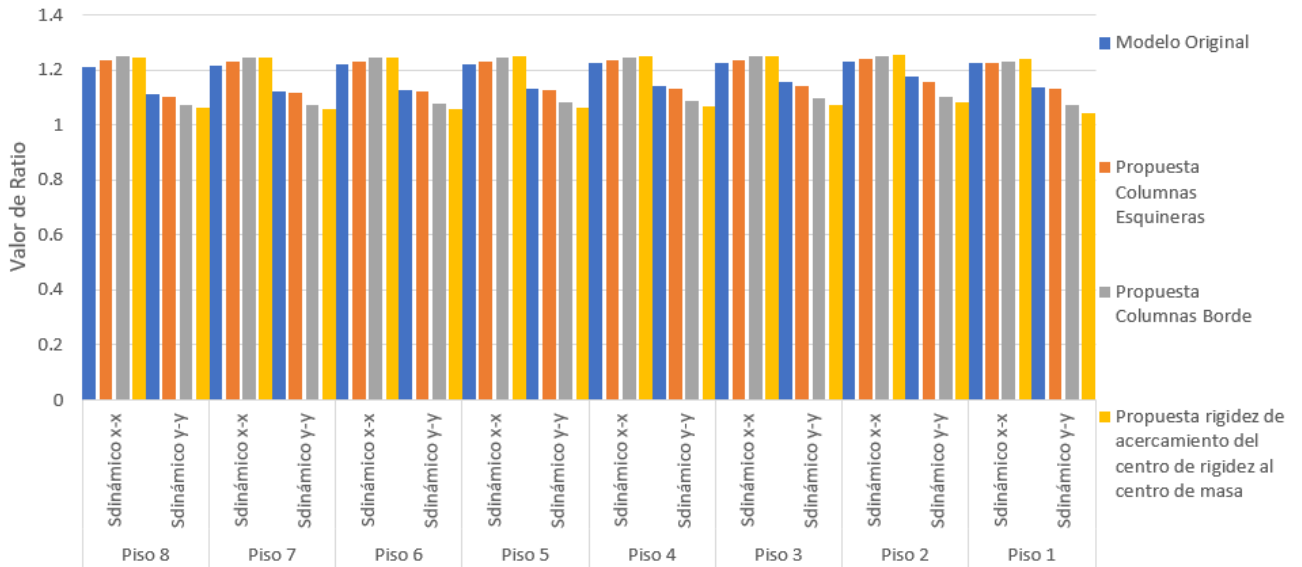


Figura 10. Coeficientes de irregularidad de la ciudad de Quito con 8 pisos.

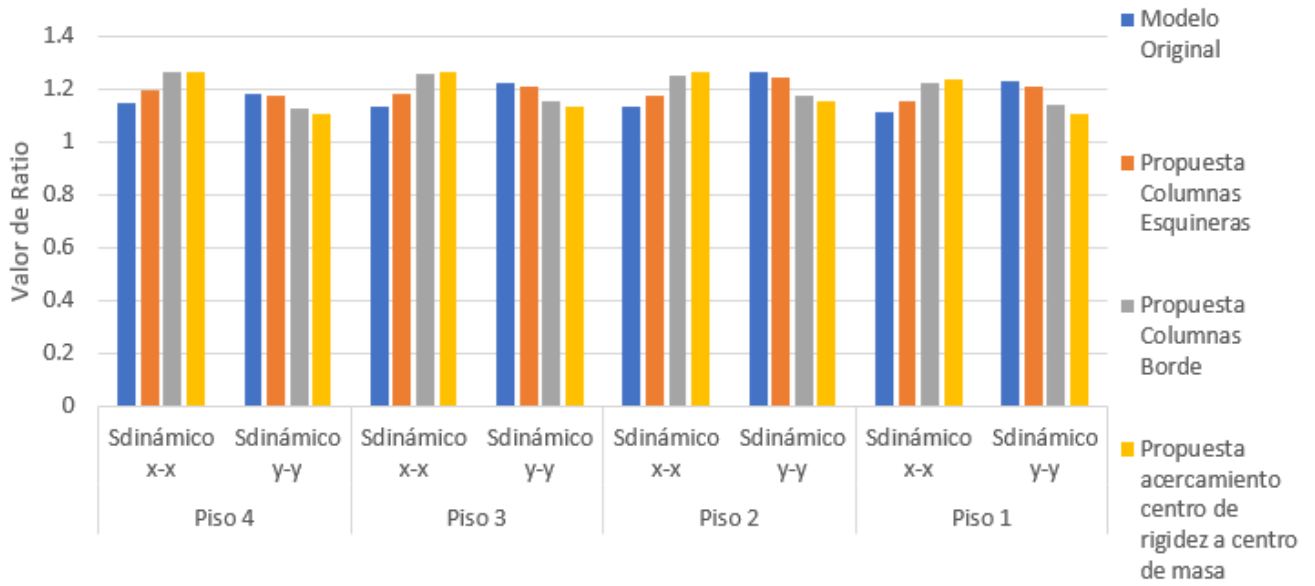


Figura 11. Coeficientes de irregularidad de la ciudad de Esmeraldas con 4 pisos.

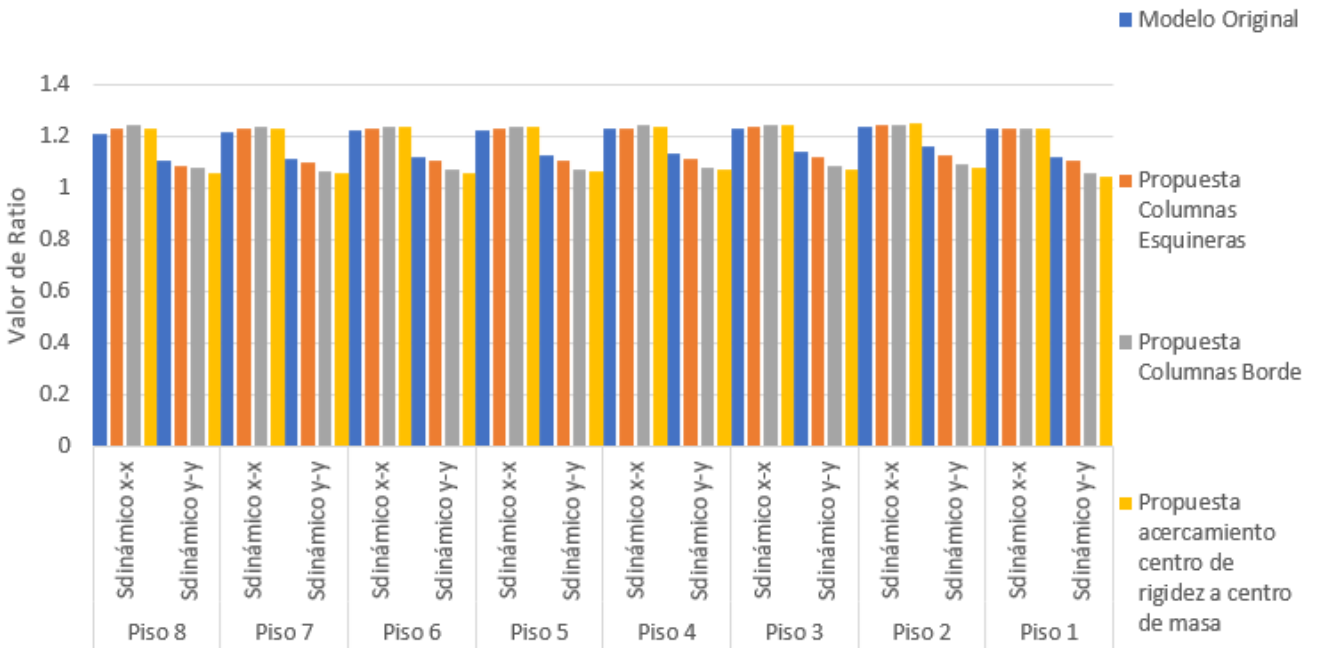


Figura 12. Coeficientes de irregularidad de la ciudad de Esmeraldas con 8 pisos.

3.3. Participación modal

El estudio modal de la estructura indica el modo de vibración que esta tiene, siendo de manera traslacional o rotacional, esta segunda debe ser evitada y/o minimizada en los primeros modos y se debe procurar que los primeros dos modos de vibración sean traslacionales.

La cuantificación que se presenta en las Tablas 15 a 18, muestran la participación de masa en los dos primeros modos, cuantificándolo en los modos rotacionales y traslacionales, verificando que la participación del modo rotacional Rz sea menor al 30% del mayor entre los modos traslacionales Ux y Uy. En caso de que se cumpla que el modo Rz es menor al 30 % de los modos traslacionales nos encontramos frente a un movimiento traslacional, caso contrario será rotacional.

Con las tablas mencionadas se observa como el movimiento de la edificación cambia o se mantiene conforme se realizaron los cambios en cada propuesta realizada.

Tabla 15: porcentaje de participación modal 4 pisos Quito

	Modo	30%Ux	30%Uy	Rz	Vibración
Modelo base	1ero	0.166	0.0419	0.2304	Rota.
	2do	0.101	0.091	0.2762	Rota.
Propuesta de columnas esquineras	1ero	0.196	0.026	0.1748	Tras.
	2do	0.075	0.098	0.3487	Rota.
Propuesta de columnas de borde	1ero	0.23	0.010	0.0977	Tras.
	2do	0.038	0.103	0.45	Rota.
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	1ero	0.23	0.010	0.098	Tras.
	2do	0.037	0.106	0.44	Rota

Tabla 16: porcentaje de participación modal 4 pisos Esmeraldas

	Modo	30%Ux	30%Uy	Rz	Vibración
Modelo base	1ero	0.11463	0.074	0.311	Rota.
	2do	0.158	0.083	0.128	Tras.
Propuesta de columnas esquineras	1ero	0.161	0.045	0.240	Rota.
	2do	0.111	0.103	0.219	Rota.
Propuesta de columnas de borde	1ero	0.230	0.011	0.113	Tras.
	2do	0.042	0.125	0.373	Rota.
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	1ero	0.231	0.010	0.116	Tras.
	2do	0.040	0.133	0.353	Rota.

Tabla 17: porcentaje de participación modal 8 pisos Esmeraldas

	Modo	30%Ux	30%Uy	Rz	Vibración
Modelo base	1ero	0.234	0.006	0.073	Tras.
	2do	0.022	0.159	0.293	Rota.
Propuesta de columnas esquineras	1ero	0.235	0.005	0.074	Tras.
	2do	0.022	0.139	0.355	Rota.
Propuesta de columnas de borde	1ero	0.238	0.003	0.066	Tras.
	2do	0.019	0.120	0.424	Rota.
Propuesta rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	1ero	0.239	0.002	0.064	Tras.
	2do	0.017	0.132	0.391	Rota

Tabla 18: porcentaje de participación modal 8 pisos Quito

	Modo	30%Ux	30%Uy	Rz	Vibración
Modelo base	1ero	0.22	0.010	0.096	Tras.
	2do	0.032	0.157	0.26	Rota.
Propuesta de columnas esquineras	1ero	0.226	0.008	0.0917	Tras.
	2do	0.029	0.146	0.30	Rota.
Propuesta de columnas de borde	1ero	0.23	0.003	0.075	Tras.
	2do	0.021	0.129	0.37	Rota.
Propuesta de rigidez de acercamiento del centro de rigidez al centro de masa	1ero	0.23	0.010	0.098	Tras.
	2do	0.037	0.106	0.44	Rota.

3.4. Propuesta muros de corte

Debido a que los resultados obtenidos por las propuestas anteriores para reducir la torsión en la edificación no fueron suficientes, se plantea la modelación de muros de corte con un espesor de 25 centímetros como se muestra en la Figura 13.

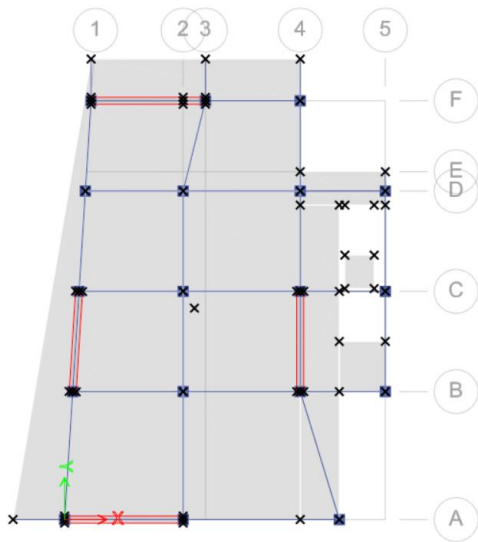


Figura 13. Vista en planta de propuesta muros de corte.

Tomando en cuenta este modelo se presenta los resultados de excentricidad en las Tablas 19 y 20, la participación modal en las Tablas 21, además de las graficas de coeficiente de irregularidad en las Figuras 14 a 17.

Tabla 19: Porcentaje de excentricidad propuesta muros de corte, modelo de 4 pisos en Quito y Esmeraldas.

Quito		Esmeraldas	
Excentricidad x	Excentricidad y	Excentricidad x	Excentricidad y
1.11%	0.82%	1.31%	0.77%
0.36%	0.71%	0.56%	0.52%
0.47%	0.48%	0.23%	0.19%
0.73%	2.24%	2.20%	0.42%

Tabla 20: Porcentaje de excentricidad propuesta muros de corte, modelo de 8 pisos en Quito y Esmeraldas

Quito		Esmeraldas	
Excentricidad x	Excentricidad y	Excentricidad x	Excentricidad y
2.36%	0.97%	2.65%	0.62%
1.69%	0.72%	2%	0.44%
1.01%	0.24%	1.32%	0.03%
0.42%	0.29%	3.53%	1.26%
0.05%	0.79%	3.03%	1.75%
0.41%	1.23%	2.65%	2.19%
0.92%	1.59%	2.15%	2.51%
1.12%	1.63%	2.15%	2.44%

Tabla 21: porcentaje de participación modal, propuesta muros de corte, Quito y Esmeraldas.

	Modo	30%Ux	30%Uy	Rz	Vibración
Quito 4 pisos	1ero	0.003	0.215	0.0009	Tras.
	2do	0.214	0.003	0.0004	Tras.
Quito 8 pisos	1ero	0.14	0.074	0.0001	Tras.
	2do	0.072	0.14	0.0019	Tras.
Esmeraldas 4 pisos	1ero	0.0045	0.216	0.0013	Tras.
	2do	0.214	0.0045	0.0001	Tras.
Esmeraldas 8 pisos	1ero	0.16	0.043	0.0004	Tras.
	2do	0.041	0.17	0.0027	Tras.

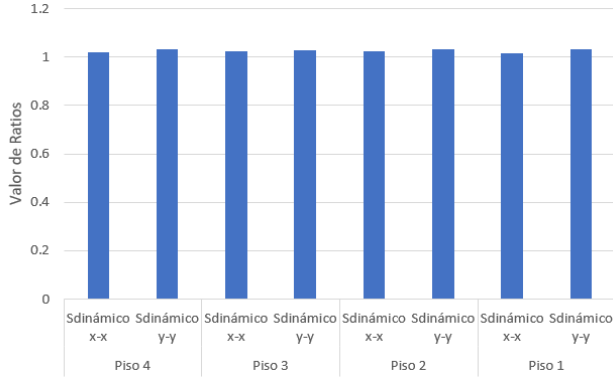


Figura 14. Coeficientes de irregularidad muros de corte, Quito con 4 pisos.

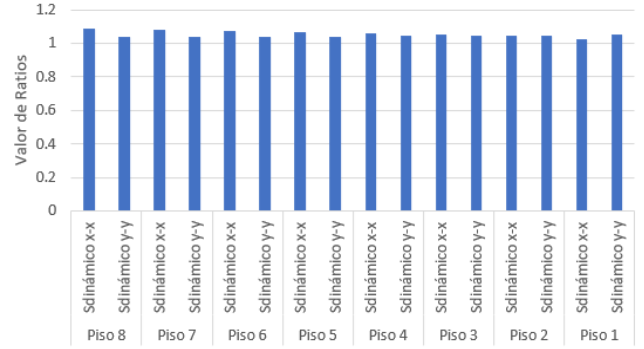


Figura 17. Coeficientes de irregularidad muros de corte, Esmeraldas con 8 pisos.

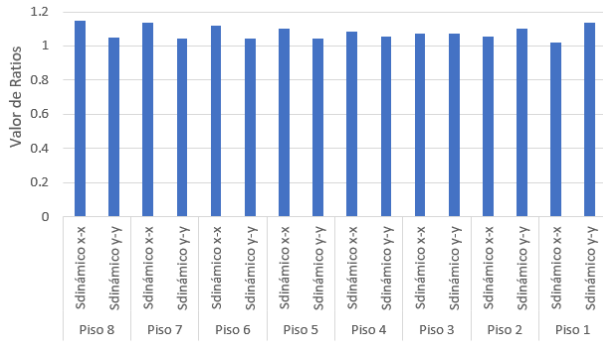


Figura 15. Coeficientes de irregularidad muros de corte, Quito con 8 pisos.

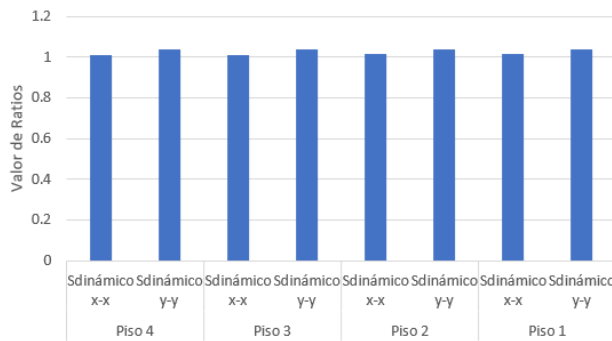


Figura 16. Coeficientes de irregularidad muros de corte, Esmeraldas con 4 pisos.

4. Conclusiones

Realizando las modificaciones en las columnas esquineras y de borde se logro reducir la excentricidad del modelo base, el cual está comprendido en el rango de 8% a 13%, reduciendo a valores entre 5% y 10 % en los modelos de 4 pisos. En los modelos de 8 pisos se inicio con excentricidades comprendidas entre 6% a 9%, llegando a 2% y 5%.

Mediante el cambio de sección en las columnas para generar mayor rigidez, se logra modificar el modo de vibración de la estructura variando de rotacional a traslacional, como se muestra en los resultados, sin embargo, esto no llega a mitigar la torsión en los dos primeros modos de vibración.

El coeficiente ratio debe ser estudiado a nivel de cada piso a partir de la estructura base. En algunos niveles el valor de ratio supera el valor de 1.2, al hacer la modificación en la forma y ubicación de las columnas, se observa un aumento del coeficiente de irregularidad en una dirección, así como la reducción en el otro sentido ortogonal a la torsión.

Considerando que con los cambios solo en ubicación y forma de columnas no fue posible hacer a la estructura regular, con valores de ratio mayores a 1.2, en los primeros dos modos se presenta un comportamiento rotacional y los niveles de excentricidad son mayores al 5% (excentricidad accidental), se implementó el uso de muros de corte.

Con la implementación de muros de corte se logró disminuir la excentricidad por debajo del 5%, obteniendo en los dos primeros modos de vibración desplazamientos traslacionales y coeficientes de irregularidad menores al 1.2.

Se recomienda en las estructuras que vayan a ser diseñadas y construidas, limitar el efecto de torsión a valores menores a 1.2 de ratio en la irregularidad, que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales y contengan excentricidades menores al 5% a fin de mitigar el efecto indeseable de la torsión en las estructuras.

Referencias

- [1] A. Chopra, "Dinámica de Estructuras", 4a ed. California: Pearson, 2012.
- [2] Zúñiga, P. S. (2015). "El centro de rigidez y el centro de masas y su incidencia en el comportamiento estructural ante solicitaciones sísmicas en un edificio tipo I de 6 pisos de hormigón armado en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua". Universidad Técnica de Ambato.
- [3] G. Gálvez, J. Martínez y J. González. (2020). "Estimación de los efectos de torsión accidental sísmica a partir de la amplificación de la respuesta de un modelo torsionalmente balanceado". *Ingeniería Sísmica*, (103), Artículo e 2395-8251.44
- [4] Miduvi, "NEC-15, Normativa ecuatoriana de la construcción", Quito, 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

- [5] C. Medina, "Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en estructuras Irregulares", *Revista Politécnica*, vol. 39, n.º 2, pp. 9, 2017.
- [6] A. Committee, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete With Commentary: ACI 318-89, ANSI 318R-89". Amer Concrete Inst, 2014.
- [7] T. Pillasagua. (2017). "Revista Digital" (Informe de Patologías). <https://www.yumpu.com/es/document/read/59387563/revista-digital-tyrone-pillasagua-6to-a2>
- [8] O. Gómez, "Estudio analítico de los efectos de la torsión natural en el comportamiento de edificios de varios pisos torsionalmente desbalanceados ante solicitaciones sísmicas", Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2004.
- [9] M. Florin. (2020). "A Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures. Applied Sciences", 10(1), Artículo 5555. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/16/5555/reprints11>
- [10] C. Cisneros, "Evaluación de criterios de distribución del cortante por torsión sísmica estática", Trabajo de grado, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2003.
- [11] E. Popov. (1999). "Mecánica de sólidos" (2a ed.). Pearson. https://www.academia.edu/31432452/Mecánica_de_Sólidos_Egor_Popov_2_Ed_Español
- [12] J. McCormac. (2018). "Diseño de Concreto Reforzado" (10a ed.). Alfaomega.
- [13] ASCE (2010). "American Society of Civil Engineers Minimum design loads for buildings and other structures-ASCE. Standard 7-05: ASCE". EUA

- [14] T. Grajales. (27 de marzo de 2000). “TIPOS DE INVESTIGACION”. <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1FOL42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- [15] D. Collier. (1993). “Método Comparativo. Revista uruguaya de ciencia política”,1(1),14.
- [16] F. Escobar. (2016). “La técnica del fichaje en el desarrollo de la comprensión de textos en estudiantes del tercer grado de la institución educativa N° 24387 – Pauza” [Trabajo de grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9219635d-ca8c-4a3f-99e5-d1007de39fbb/content>