



Comparación Estructural de Tres Diseños en un Edificio de Siete Pisos

Structural Comparison of Three Designs in a Seven Story Building

Comparaçãõ estrutural de três projetos em um edifício de sete andares

Sebastián Fabricio Estupiñán Bazurto ^I

sebas99@uees.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-8977-2985>

José David Olmedo Ponce ^{II}

jose.olmedo.ponce@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8433-2533>

Lenin Montaña Roldan ^{III}

victor.monyano@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1337-2896>

Correspondencia: sebas99@uees.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de abril de 2023 * **Aceptado:** 12 de mayo de 2023 * **Publicado:** 15 de junio de 2023

- I. Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador.

Resumen

Hoy en día, hablar de seguridad de toda construcción es hacer referencia a edificaciones que ofrezcan la mejor resistencia a eventos como los sismos que ponen en riesgo la integridad de los ciudadanos. El objetivo general de esta investigación comprende analizar y comparar tres diseños en una edificación ubicada en la ciudad de Esmeraldas. El análisis de los referidos diseños se empleó el software ETABS (Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones), los resultados obtenidos respecto a las derivas, desplazamientos, torsión y fuerzas laterales, fueron procesados mediante el programa Excel. El proceso de comparación permitió establecer las diferencias entre los 3 modelos, cabe recalcar que el proyecto asume las normativas dadas por la NEC. Se concluye que el primer diseño es el que genera la mayor demanda en costo y presenta los mayores desplazamientos entre los tres diseños, haciendo que no tenga un buen rendimiento estructural, a diferencia del tercer diseño que es el mejor de los tres presentando un correcto equilibrio entre el costo y beneficio.

Palabras Clave: Edificación; seguridad; sismo; software ETABS.

Abstract

Today, talking about the safety of all construction is referring to buildings that offer the best resistance to events such as earthquakes that put the integrity of citizens at risk. The general objective of this research includes analyzing and comparing three designs in a building located in the city of Esmeraldas. The analysis of the aforementioned designs was used the ETABS software (Extended Three-Dimensional Analysis of Buildings), the results obtained regarding drifts, displacements, torsion and lateral forces, were processed using the Excel program. The comparison process allowed us to establish the differences between the 3 models, it should be noted that the project assumes the regulations given by the NEC. It is concluded that the first design is the one that generates the highest demand in cost and presents the greatest displacements among the three designs, causing it not to have a good structural performance, unlike the third design, which is the best of the three, presenting a correct balance. between cost and benefit.

Keywords: Edification; security; earthquake; ETABS software.

Resumo

Hoje, falar da segurança de toda a construção é referir-se aos edifícios que oferecem a melhor resistência a eventos como sismos que colocam em risco a integridade dos cidadãos. O objetivo geral desta pesquisa compreende analisar e comparar três projetos em um edifício localizado na cidade de Esmeraldas. A análise dos referidos dimensionamentos foi realizada no software ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Buildings), os resultados obtidos quanto a desvios, deslocamentos, torções e esforços laterais, foram processados no programa Excel. O processo de comparação permitiu estabelecer as diferenças entre os 3 modelos, é de referir que o projeto assume as normas dadas pelo NEC. Conclui-se que o primeiro dimensionamento é o que gera maior exigência em custo e apresenta os maiores deslocamentos entre os três dimensionamentos, fazendo com que não tenha um bom desempenho estrutural, ao contrário do terceiro dimensionamento, que é o melhor dos três, apresentando um equilíbrio correto entre custo e benefício.

Palavras-chave: Edificação; segurança; terremoto; Software ETABS.

Introducción

Las tendencias globales apuntan a establecer en la planificación, el diseño y la construcción de edificaciones con estructuras segura para las personas que las ocupan, sea como hábitat familiar, laboral, de esparcimiento u otros, de este modo, los Gobiernos nacionales, regionales y locales deben constituirse en los principales entes rectores y garantizadores de ofrecer a la colectividad inmuebles adecuados en las normas de derechos humanos. Hoy en día, hablar de seguridad de toda construcción es hacer referencia a edificaciones que ofrezcan la mejor resistencia a eventos como los sismos que ponen en riesgo la integridad de los ciudadanos.

Las ondas sísmicas se mueven en función de una frecuencia, es decir, que generan un movimiento que se repite varias veces hasta que la energía liberada se disipa. Al tratarse de un movimiento cíclico puede generar lo que conocemos como fuerzas de inercia, dichas fuerzas se ven influenciadas por la masa, el tamaño y la forma del edificio y, al mismo tiempo, estas características, determinan la manera que tendrá el edificio de soportarlas (Olaiz Guillén, 2021).

Dado que cada tipo de ondas provoca un movimiento distinto, también afectará a los edificios y construcciones de diferente manera. Suponiendo un terreno regular, los movimientos sísmicos

generan cargas en todas direcciones, tanto verticales como horizontales. Normalmente los edificios se proyectan y construyen para que soporten grandes cargas verticales, tales como el peso propio y la ocupación, y pocas cargas horizontales, el viento y poco más (Olaiz Guillén, 2021). La resistencia del edificio frente al impulso sísmico está condicionada por razones geométricas (forma, dimensiones y proporciones); por las propiedades mecánicas de los materiales (elasticidad, resistencia a la tracción y al corte) y por las técnicas constructivas utilizadas (la disposición de los materiales y elementos en la estructura) (Selléz, 2021).

En atención a lo expresado, la adopción de diseños sismo-resistentes y antisísmicos se constituye en enfoques de intervención para minimizar los riesgos estructurales que conlleva para la edificación la exposición a ondas sísmicas. De este modo, la construcción sismo-resistente son aquellas que puede resistir los esfuerzos que provoca el sismo a la tierra y a la edificación y por tanto, no permite que colapse la estructura. En cuanto, a las construcciones antisísmicas tienen la propiedad de poder mitigar los efectos del sismo y que los daños en la edificación sea lo menos posible.

El diseño sismorresistente a nivel internacional considera disposiciones especiales respecto al material, al diseño de los elementos, las uniones y los arriostramientos; que condicionan el proyecto y la construcción de edificaciones en una zona sísmica. Estas disposiciones son respaldadas por normas, con la aceptación tácita de que garantizan la seguridad para estructuras amparadas en su ámbito de aplicación (Fuentes, González, Calderín, & Sánchez, 2018).

Las construcciones sismorresistentes, según especifica (Selléz, 2021) deben resistir los esfuerzos provocados por el sismo en la estructura (aunque se produzcan daños menores). Incorpora en su diseño un sobredimensionamiento de vigas y columnas con el respecto a los valores necesarios para un edificio que se encuentra en reposo con el fin de que su resistencia a la tensión, la flexión y la torsión sean mayores que los esfuerzos que se originan cuando la construcción es afectada por un sismo. También denota (Selléz, 2021), la decisión con respecto a la magnitud máxima que la estructura puede resistir (y que se utilizará en el cálculo ingenieril) es un factor crítico en el diseño y se adopta en base a criterios como la historia sísmica de la región (frecuencia y magnitud de los eventos sísmicos), el uso que se dará a la construcción, los daños potenciales que puede causar su colapso, etc.

Respecto a los dispositivos antisísmicos, (Selléz, 2021) indica, este tipo de elementos mecánicos se encargan de reducir la cantidad de energía transmitida desde el suelo a la construcción y/o de

minimizar su desplazamiento y también de acortar el período de tiempo en que el edificio permanece vibrando luego de concluido el episodio sísmico. Adicionalmente este autor expresa, los principios del funcionamiento de los dispositivos antisísmico son en general simples y no sólo pueden colocarse antes de la construcción de una estructura nueva, sino que han sido colocados bajo estructuras preexistentes para mejorar su respuesta ante los terremotos (Selléz, 2021).

Estas estrategias tienen el propósito de preservar la edificación y sus usuarios, por lo tanto, se busca diseños que sean simétricos en planta y sección para dar más estabilidad y a su vez en el momento que haya sismos el edificio sea lo suficientemente dúctil para poder deformarse lo suficiente para que no aumenten los esfuerzos.

Ahora bien, contextualizando esta investigación en Ecuador existen muchos lugares susceptibles de la ocurrencia de eventos sísmicos, esto es así, debido a la ubicación geográfica del país en el denominado Anillo de Fuego que está ubicado a lo largo del Océano Pacífico, esta zona se caracteriza por la frecuencia de terremotos y por la actividad de sus volcanes. Según reseña el documento emitido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) las zonas más sísmicas y los países que más eventos sísmicos registran son Chile, Ecuador y Guatemala, seguidos por Costa Rica, Nicaragua, y el Salvador (ONU, 2020)

En torno a ello, en el Ecuador el análisis y diseño estructural genera una gran demanda a los ingenieros civiles porque las edificaciones siempre estarán expuestas a diferentes desastres naturales, como los sismos, fenómenos impredecibles y que a lo largo de la historia han causado muchos daños estructurales en las edificaciones en el país, entre otros.

La ciudad de Esmeraldas, escenario donde se encuentra asentada la edificación que es tomada para el análisis de este proyecto, si se compara con las grandes ciudades del Ecuador no goza de suficientes recursos económicos para su crecimiento y desarrollo. Observando el entorno de la comunidad, se puede notar muchas estructuras en diferentes zonas que con el tiempo han sido olvidadas, mismas que por su condición son vulnerables a eventos sísmicos futuros, así, también existen evidencias de que algunos diferentes elementos estructurales de estas edificaciones como vigas, columnas, losas y cimentaciones, no fueron construidas siguiendo las actuales normas ecuatorianas de la construcción identificada como NEC15.

En el centro y sur de la ciudad de Esmeraldas se puede visualizar muchas casas y edificios fueron construidos de manera informal sin el debido conocimiento de las buenas prácticas de

construcción y sin la aplicación de la normativa establecida, aunado al hecho de la falta de inspección por parte de las autoridades locales competentes en la materia para permitir la construcción bajo las mencionadas condiciones de estas edificaciones, que con el tiempo y ante un evento sísmico pueden ocasionar el colapso de la edificaciones con las consecuencias en el cobro de vidas humanas y pérdidas económicas, entre otras.

De ahí, esta investigación que gira entorno de una comparación estructural de tres diseños estructurales de la ciudad de Esmeraldas, mediante el uso del software ETABS, en el propósito del presente inmediato y de cara al futuro, las construcciones sean resistentes a fenómenos de naturaleza sísmicas, asimismo, se apliquen debida y responsablemente las diferentes normativas, a fin de minimizar en el mediano y largo plazo los costos y elevar los beneficios, todo ello considerando que la ingeniería civil determina la mejor solución en términos de construcción e inversión económica para lograr el mejor desempeño estructural.

Sobre lo reseñado, el objetivo general de esta investigación comprende analizar y comparar tres diseños en una edificación ubicada en la ciudad de Esmeraldas.

Metodología

El presente trabajo comparativo muestra el desempeño de tres diseños diferentes, primero se tiene un diseño con secciones en sus columnas de 90 cm * 90 cm, vigas de 30 cm * 60 cm, el espesor de la losa de 25 cm, el segundo diseño con sus secciones en sus columnas que se irán reduciendo a partir de cada dos pisos, vigas 30 cm * 60 cm, el espesor de la losa de 25 cm y el tercer diseño con secciones en sus 4 muro de corte de 30 cm * 2.7 m, 7 columnas de 60 cm * 60 cm, vigas de 30 cm * 50 cm, el espesor de la losa de 25 cm.

Para el análisis de los referidos diseños se empleó el software ETABS (Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones), los resultados obtenidos respecto a las derivas, desplazamientos, torsión y fuerzas laterales, fueron procesados mediante el programa Excel. El proceso de comparación permitió establecer las diferencias entre los 3 modelos, cabe recalcar que el proyecto asume las normativas dadas por la NEC.

Resultados

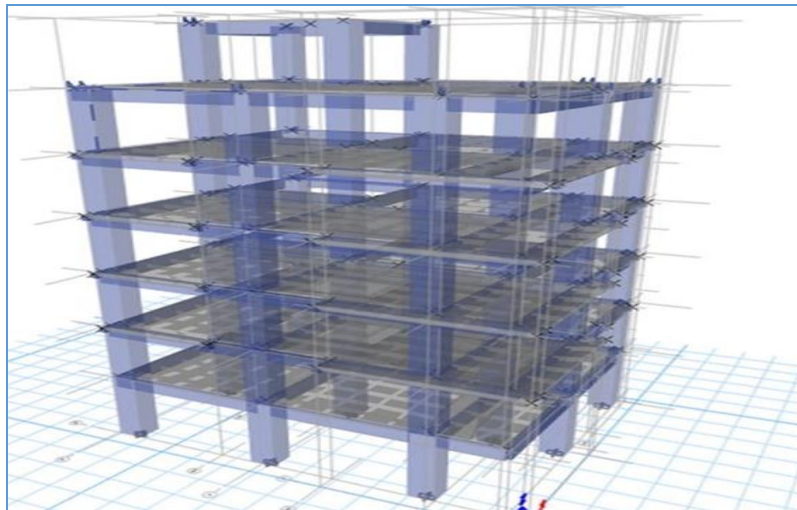
Primer diseño (1er Modelo)

Secciones e imágenes de los elementos estructurales

Vigas: 30 cm*60 cm Columnas 90 cm*90 cm. Espesor de la losa 25 cm

Figura 1.

Vista 3D del edificio del primer modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.

Tabla de los Modal de los modal en el edificio del primer modelo

Modal participating mass ratios											
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumU Z	RZ	SumR X	SumRY	SumR Z
	sec										
1	0.67	0.71	0.04	0.00	0.71	0.04	0.00	0.04	0.01	0.24	0.04
2	0.61	0.05	0.74	0.00	0.75	0.78	0.00	0.01	0.23	0.25	0.05
3	0.55	0.03	0.02	0.00	0.79	0.80	0.00	0.76	0.25	0.25	0.80
4	0.20	0.11	0.00	0.00	0.89	0.80	0.00	0.02	0.27	0.66	0.82
5	0.18	0.01	0.11	0.00	0.90	0.91	0.00	0.00	0.77	0.68	0.82
6	0.17	0.01	0.00	0.00	0.91	0.92	0.00	0.10	0.78	0.74	0.92
7	0.10	0.03	0.00	0.00	0.94	0.92	0.00	0.01	0.78	0.84	0.92
8	0.10	0.00	0.04	0.00	0.94	0.96	0.00	0.00	0.87	0.85	0.92

9	0.09	0.01	0.00	0.00	0.95	0.96	0.00	0.03	0.87	0.87	0.96
10	0.07	0.02	0.01	0.00	0.97	0.97	0.00	0.00	0.89	0.90	0.96

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se tiene que los tres primeros modal son los más críticos, a los periodos los cuales representan la dinámica, cada modal tiene una dirección comenzando por la dirección en X, segundo la dirección en Y y tercero la torsión, ahí se vuelve a repetir a partir de la dirección en X.

Tabla 2.

Derivas máximas en los diferentes sismos del primer modelo

Cargas	Derivadas MAX	Delta m = $0.75 \cdot R \cdot DMAX$	Límite de la DMAX	Fuera del limite	
				Si	No
				SEX	0.001267
SEY	0.001026	0.006156	0.02		X
SDX	0.001142	0.006852	0.02		X
SDY	0.000876	0.005256	0.02		X

Nota. Fuente: Elaboración propia

En el primer modelo no pasamos el límite de la deriva que se muestra en la NEC, es por eso que si se va utilizar en la comparación.

R=8

Límite de la DMAX 0.02, el valor ha sido establecido por la NEC

Tabla 3.

Desplazamientos en el edificio y en los diferentes sismos del primer modelo

Story	SEX (m)	SEY (m)	SDX (m)	SDY (m)
7	0.021	0.017	0.019	0.013
6	0.019	0.016	0.017	0.013
5	0.017	0.014	0.015	0.012

4	0.014	0.012	0.013	0.010
3	0.010	0.009	0.009	0.007
2	0.006	0.005	0.006	0.005
1	0.002	0.002	0.002	0.002

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los mayores desplazamientos se encuentran en el piso 7 y 6 donde se tiene a la planta de cubierta y a la planta de terraza accesible.

Tabla 4.

Torsiones en el edificio y en los diferentes sismos del primer modelo

Story	Diaphragm	Output Case	RZ	Torsión grados
Story7	D7	Sis E/X	- 0.0002	-0.01
Story7	D7	Sis E/Y	-0.00005	-0.003
Story7	D7	SisD/X	0.000542	0.03
Story7	D7	SisD/Y	0.000286	0.01

Nota. Fuente: Elaboración propia

El software nos da las torsiones en radianes, pero están convertidas a grados y la mayor torsión se encuentra en el piso 7 – SDX.

Tabla 5.

Fuerzas laterales primer modelo

Niveles	Masa de los pisos	Fuerzas laterales SEX/SEY	Fuerzas laterales SDX	Fuerzas laterales SDY
7	493.52	73.37	88.78	64.46
6	1971.24	297.58	228.16	235.03

5	2576.70	363.27	283.46	288.91
4	2532.36	285.23	226.30	230.18
3	2532.36	214.22	172.96	175.11
2	2248.44	128.05	100.16	102.94
1	2638.50	77.13	51.27	54.48

Nota. Fuente: Elaboración propia

Las unidades de las fuerzas laterales están en KN

Los valores de masa de piso están sacados haciendo una diferencia entre los valores de P(KN) que da ETABS.

Tabla 6.

Valores de P(KN)

P (KN) ETABS
493.52
2464.76
5041.46
7573.82
10106.18
12354.62
14993.12

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.

Valores con los cuales se obtuvo las fuerzas laterales

SDX/SDY	SDX	SDY
	88.78	64.46
	316.94	299.49
	600.40	588.40
	826.70	818.57

999.67	993.68
1099.83	1096.62
1151.10	1151.10

Nota. Fuente: Elaboración propia

2do Modelo

Secciones e imágenes de los elementos estructurales

Vigas 30 cm * 60 cm

Columns

Primer y segundo piso 90 cm * 90 cm

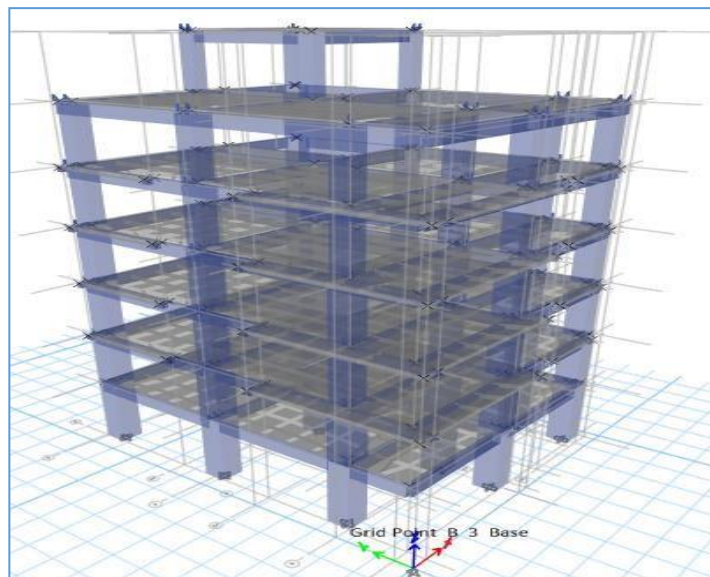
Tercer y cuarto piso 80 cm * 80 cm

Quinto y sexto piso 70 cm * 70 cm

Séptimo piso 60 cm * 60 cm Espesor de losa 25 cm

Figura 2.

Vista 3D del edificio segundo modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.
Modal en el edificio del segundo modelo

Modal participating mass ratios									
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ	SumRZ
	sec								
1	0.65	0.69	0.04	0.69	0.04	0.01	0.25	0.03	0.03
2	0.60	0.06	0.70	0.75	0.74	0.23	0.02	0.03	0.06
3	0.55	0.02	0.04	0.77	0.78	0.02	0.00	0.72	0.78
4	0.21	0.10	0.01	0.87	0.78	0.02	0.36	0.02	0.79
5	0.19	0.01	0.11	0.88	0.90	0.44	0.03	0.00	0.79
6	0.18	0.01	0.00	0.89	0.90	0.01	0.06	0.10	0.90
7	0.12	0.03	0.00	0.92	0.90	0.00	0.08	0.01	0.90
8	0.11	0.00	0.04	0.92	0.94	0.06	0.00	0.00	0.91
9	0.10	0.01	0.00	0.93	0.94	0.01	0.02	0.03	0.94
10	0.08	0.02	0.01	0.96	0.95	0.03	0.04	0.00	0.94

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se tiene que los tres primeros modal son los más críticos, a los periodos los cuales representan la dinámica, cada modal tiene una dirección comenzando por la dirección en X, segundo la dirección en Y y tercero la torsión, ahí se repite a partir de la dirección en X.

Tabla 9.
Derivas MAX del segundo modelo

Cargas	Derivadas MAX	Delta	m	=Límite de la DMAX	Fuera del limite	
					Si	No
		0.75*R*DMAX				
SEX	0.001259	0.007554	0.02			X
SEY	0.001047	0.006282	0.02			X
SDX	0.001132	0.006792	0.02			X
SDY	0.000927	0.005562	0.02			X

Nota. Fuente: Elaboración propia

R= 8

Límite de la DMAX 0.02 el valor ha sido establecido por la NEC

Tabla10.

Desplazamientos en los 7 pisos y los cuatro sismos

Story	SEX (m)	SEY (m)	SDX (m)	SDY (m)
7	0.0201	0.0162	0.0181	0.0129
6	0.0189	0.0156	0.0169	0.0135
5	0.0168	0.0141	0.0151	0.0124
4	0.0137	0.0115	0.0123	0.0101
3	0.0099	0.0084	0.0089	0.0075
2	0.0058	0.0051	0.0052	0.0045
1	0.00229	0.0020	0.0020	0.0017

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Mayor torsión en el diseño

Story	Diaphragm	Output Case	RZ	Torsion Gra.
			rad	
Story7	D7	Sis E/X	-0.000194	-0.0111154
Story7	D7	Sis E/X	-0.000333	-0.0190795
Story7	D7	Sis E/X	-0.000055	-0.0031513
Story7	D7	Sis E/Y	-0.000071	-0.004068
Story7	D7	Sis E/Y	0.000042	0.0024064
Story7	D7	Sis E/Y	-0.000184	-0.0105424
Story7	D7	SisD/X	0.00051	0.0292208

Nota. Fuente: Elaboración propia

El software nos da la torsión en radianes, pero se convierte a grados y la mayor torsión está en el piso 7 en el SDX

Tabla 12.

Fuerzas laterales en los siete pisos y en los cuatro pisos

Niveles	Masa de los pisos	Fuerzas laterales SEX/SEY	Fuerzas laterales SDX	Fuerzas laterales SDY
7	358.01	61.61	73.98	56.46
6	1705.90	270.24	210.60	216.52
5	2311.36	333.92	266.08	270.43
4	2391.29	268.73	214.31	215.51
3	2391.29	207.29	166.47	167.26
2	2248.44	127.05	96.35	98.67
1	2638.50	79.04	50.50	53.50

Nota. Fuente: Elaboración propia

Las unidades de las fuerzas laterales están en KN

Los valores de masa de piso están calculados haciendo una diferencia entre los valores de P(KN) que da ETABS.

Tabla 12.

Valores con los cuales se obtuvo las fuerzas laterales

P KN

358.01

2063.91

4375.27

6766.57

9157.86

11406.30

14044.79

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.

Valores SDX/SDY

SDX	SDY
56.46	73.98
272.97	284.58
543.40	550.67
758.91	764.98
926.17	931.45
1024.84	1027.80
1078.33	1078.30

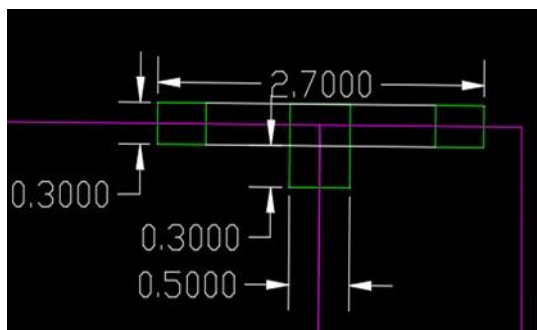
Nota. Fuente: Elaboración propia

3ro Modelo

Secciones e imágenes de los elementos estructurales

7 columnas: 60 cm * 60 cm

4 muros de corte

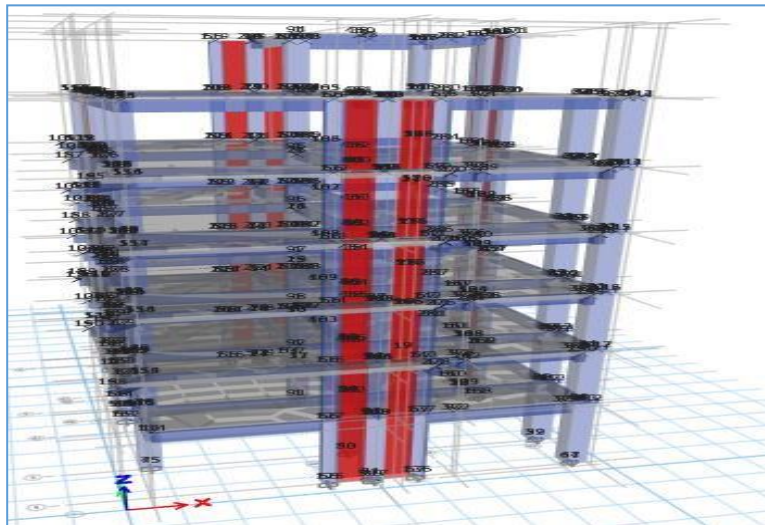


Columnas secretas que se encuentran en los muros de corte: 30 cm * 40 cm

Vigas: 30 cm * 50 cm Espesor de losa 25 cm

Figura 3.

Vista 3D del edificio del tercer modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.

Modal en el edificio del tercer modelo

Modal participating mass ratios											
Mode	Perio d	UX	UY	UZ	SumUX	SumU Y	SumU Z	SumURX	RY	RZ	SumR Z
1	0.57	0.73	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.30	0.01	0.01
2	0.55	0.00	0.75	0.00	0.73	0.75	0.00	0.29	0.00	0.00	0.01
3	0.42	0.01	0.00	0.00	0.74	0.76	0.00	0.00	0.00	0.73	0.74
4	0.16	0.15	0.01	0.00	0.89	0.76	0.00	0.01	0.39	0.01	0.75
5	0.15	0.00	0.14	0.00	0.89	0.90	0.00	0.43	0.01	0.00	0.75
6	0.11	0.01	0.00	0.00	0.90	0.90	0.00	0.01	0.02	0.14	0.89
7	0.09	0.01	0.01	0.00	0.91	0.91	0.00	0.01	0.03	0.01	0.90
8	0.07	0.02	0.03	0.00	0.93	0.94	0.00	0.07	0.06	0.00	0.90
9	0.06	0.02	0.02	0.00	0.95	0.96	0.00	0.05	0.05	0.00	0.90
10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.95	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se tiene que los tres primeros modal son los más críticos, a los periodos los cuales representan la dinámica, cada modal tiene una dirección comenzando por la dirección en X, segundo la dirección en Y y tercero la torsión, ahí se vuelve a repetir a partir de la dirección en X.

Tabal 15

Derivas máximas en los diferentes sismos del tercer modelo

Cargas	Derivadas MAX	Delta m = 0.75*R*DMAX	Limite de la DMAX	Fuera del limite	
				Si	No
SEX	0.000909	0.005454	0.02		X
SEY	0.000815	0.00489	0.02		X
SDX	0.000781	0.004686	0.02		X
SDY	0.000672	0.004032	0.02		X

Nota. Fuente: Elaboración propia

El modelo con muro de corte no está fuera del límite por este motivo está para hacer la comparación.

R=8

Límite de la DMAX 0.02 el valor ha sido establecido por la NEC

Tabla 16.

Desplazamientos en el edificio y en los diferentes sismos del tercer modelo

Story	SEX (m)	SEY (m)	SDX (m)	SDY (m)
7	0.02	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00
Base	0	0	0	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los mayores desplazamientos se encuentran en el piso 7 y ahí se tiene la planta de cubierta

Tabla 17.
Torsiones en el edificio y en los diferentes sismos del tercer modelo

TABLE: Diaphragm Center Of Mass Displacements					
Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Torsion RZ	Torsión grad
				rad	
Story7	D7	Sis E/X	LinStatic	-0.000131	-0.007
Story7	D7	Sis E/Y	LinStatic	0.000084	0.004
Story7	D7	SisD/X	LinRespSpec	0.000234	0.013
Story7	D7	SisD/Y	LinRespSpec	0.00012	0.006
Story6	D6	Sis E/X	LinStatic	-0.000072	-0.004

Nota. Fuente: Elaboración propia

El software entrega las torsiones en radianes y se tienen que convertir a grados donde se tiene que la mayor torsión se encuentra en el piso 7 – SDX.

Tabla 18.
Fuerzas laterales del tercer modelo

Niveles	Masa de los pisos KN	Fuerzas laterales SEX/SEY	Fuerzas laterales SDX	Fuerzas laterales SDY
7	466.16	68.66	82.68	67.83
6	1714.74	264.21	223.74	227.45
5	2314.97	327.61	261.45	264.84
4	2284.08	258.25	199.28	202.67
3	2284.08	193.95	147.73	149.70
2	2284.08	130.58	94.37	95.76
1	2315.47	68.02	39.81	40.79

Nota. Fuente: Elaboración propia

Las unidades de las fuerzas laterales están en KN

Los valores de masa de piso están sacados haciendo una diferencia entre los valores de P(KN) que da ETABS.

Tabla 19.

Valores de P(KN) ETABS.

P (KN) ETABS

466.15
2180.89
4495.86
6779.94
9064.03
11348.11
13663.58

Nota. Fuente: Elaboración propia

Estos son los valores con los cuales obtuve las fuerzas laterales SDX/SDY, el proceso consiste en hacer una resta.

Tabla 20.

Valores SDX/SDY

SDX	SDY
82.67	67.83
306.41	295.28
567.86	560.12
767.13	762.79
914.86	912.48
1009.23	1008.24
1049.04	1049.04

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Análisis de costo en los modelos

Story	Height m	Elevation m
Story7	3.24	23.24
Story6	3.24	20
Story5	3.24	16.76
Story4	3.24	13.52
Story3	3.24	10.28
Story2	3.24	7.04
Story1	3.8	3.8
Base		0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.

Comparación de los modal (ideo periodo) entre los 3 diseños

Modal	Modal Participating Mass			Diferencia con el menor			Diferencias %*100		
	Ratios			valor					
	Periodo seg.								
	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
1	0.66	0.65	0.57	0.09	0.08	0	16.75	13.9	0
2	0.61	0.60	0.55	0.06	0.05	0	11.23	9.23	0
3	0.55	0.54	0.42	0.13	0.12	0	31.11	29.69	0
4	0.19	0.20	0.15	0.04	0.05	0	28.38	34.19	0
5	0.18	0.19	0.15	0.03	0.04	0	20.66	27.33	0
6	0.16	0.17	0.11	0.05	0.06	0	47.32	58.03	0
7	0.10	0.11	0.08	0.01	0.03	0	20.93	38.37	0
8	0.09	0.10	0.07	0.02	0.03	0	31.50	49.31	0
9	0.08	0.09	0.06	0.02	0.03	0	36.50	53.96	0
10	0.06	0.08	0.05	0.01	0.03	0	28.30	58.49	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el diseño más flexible es el segundo con una pequeña diferencia con el primer diseño, el más rígido es el tercer diseño donde se tiene a los muros de corte, porque como los tres diseños tienen los otros datos iguales (puntos de ubicación en las columnas, vigas, el espesor de la losa, la altura de los pisos etc.) el diseño más rígido tiene unos menores periodo y el diseño más flexible tiene unos mayores periodo, en esta tabla se tienen unas diferencias tomando como referencia al menor valor, que es el del tercer diseño con muro de cortes y en la tabla de porcentajes se tienen los resultados de multiplicar las diferencias por cien y dividir por el menor valor.

Tabla 23.

Comparación de las derivas entre los tres diseños

Deriva Máxima				
Sismos		Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Deriva MAX	SEX	0.001267	0.001259	0.000909
	SEY	0.001026	0.001047	0.000815
	SDX	0.001142	0.001132	0.000781
	SDY	0.000876	0.000927	0.000672
Total		0.004311	0.004365	0.003177
Diferencias	SEX	0.000358	0.00035	0
	SEY	0.000211	0.000232	0
	SDX	0.000361	0.000351	0
	SDY	0.000204	0.000255	0
Dif. %*100	SEX	39.38393839	38.50385039	0
	SEY	25.88957055	28.46625767	0
	SDX	46.22279129	44.94238156	0
	SDY	30.35714286	37.94642857	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el diseño más flexible es el segundo, el más rígido es el tercer diseño donde tenemos a los muros de corte, en esta tabla se tienen unas diferencias entre las derivas

MAX, tomando como referencia al menor valor, que es el tercer diseño con muro de cortes y en la tabla de porcentajes se tienen los resultados de multiplicar las diferencias por cien y dividir por el menor valor.

Tabla24.

Comparación de los desplazamientos entre los tres diseños

Desplazamientos					
Story	Diseños	SEX (m)	SEY (m)	SDX (m)	SDY (m)
7	Diseño 1	0.02082	0.016579	0.018718	0.013098
	Diseño 2	0.020169	0.016278	0.018113	0.012956
	Diseño 3	0.016761	0.014961	0.014437	0.012347
6	Diseño 1	0.019301	0.015667	0.017346	0.013115
	Diseño 2	0.018905	0.01567	0.016941	0.013541
	Diseño 3	0.014749	0.013192	0.012654	0.010875
5	Diseño 1	0.017128	0.014021	0.015404	0.011888
	Diseño 2	0.016861	0.014114	0.015112	0.012403
	Diseño 3	0.01245	0.011164	0.010649	0.009191
4	Diseño 1	0.014138	0.011663	0.012739	0.009938
	Diseño 2	0.013716	0.011552	0.012301	0.010195
	Diseño 3	0.009806	0.008828	0.008349	0.007257
3	Diseño 1	0.01042	0.008694	0.009411	0.00744
	Diseño 2	0.009973	0.008496	0.00895	0.007519
	Diseño 3	0.006877	0.006225	0.005827	0.005106
2	Diseño 1	0.006315	0.005369	0.005718	0.00461
	Diseño 2	0.005896	0.005105	0.00529	0.004522
	Diseño 3	0.003938	0.003591	0.003317	0.002937
1	Diseño 1	0.002466	0.002153	0.002239	0.001834
	Diseño 2	0.002296	0.002039	0.002061	0.001783
	Diseño 3	0.00143	0.001337	0.001201	0.001089

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el diseño más flexible es el primero el cual tiene los mayores desplazamientos en los siete pisos y el diseño más rígido es el tercero donde se tiene a los muros de corte el cual tiene los menores desplazamientos en todos los pisos cabe recalcar que el concepto de flexibilidad y rigidez se basa en los desplazamientos.

Tabla 25.

Comparación de las máximas torsiones entre los tres diseños

Torsiones				Diferencia (con el menor valor)				Diferencia %*100			
Diseño	Nivel	Carga	Torsión Grado	Diseño	Nivel	Carga	Torsión Grado	Diseño	Nivel	Carga	Torsión Grado
Diseño 1	D7	SisD/X	0.031	Diseño 1	D7	SisD/X	0.018	Diseño 1	D7	SisD/X	131.22
Diseño 2	D7	SisD/X	0.029	Diseño 2	D7	SisD/X	0.016	Diseño 2	D7	SisD/X	116.30
Diseño 3	D7	SisD/X	0.013	Diseño 3	D7	SisD/X	0.000	Diseño 3	D7	SisD/X	0.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el diseño con la mayor torsión es el primero, el diseño que tiene la menor torsión es el tercero donde se tiene a los muros de corte, en esta tabla se tienen unas diferencias entre las torsiones que es otro tipo de desplazamiento, tomando como referencia al menor valor, que es el del tercer diseño con muro de cortes y en la tabla de porcentajes se tienen los resultados de multiplicar las diferencias por cien y dividir por el menor valor.

Tabla 26.

Comparación de los costos entre los tres diseños

Diseños	Costo \$	Diferencia	Diferencia %*100

Diseño 1	97526.786	16605.20	20.52
Diseño 2	87202.517	6280.94	7.76
Diseño 3	80921.577	0	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el diseño que demanda mayor costo es el primero, el que demanda menos costo es el tercero, en esta tabla se tienen unas diferencias entre los costos, tomando como referencia al menor valor y en la tabla de porcentajes se tienen los resultados de multiplicar las diferencias por cien y dividir por el menor valor.

Conclusiones

Las columnas y vigas de los tres diseños están en los mismos puntos de ejes, las diferencias entre ellos son en las secciones de las columnas y se tiene al diseño con muro de corte.

Al realizar la comparación de los tres diseños, se tiene que el más rígido y mejor estructuralmente es el tercero, ya que en él se encuentran los 4 muro de corte que permiten tener el menor desplazamiento en todos sus pisos, las menores derivas en los cuatro sismos y las menores torsiones; a este le sigue el segundo diseño donde se tiene a las columnas donde sus secciones van reduciendo cada dos pisos, el cual tiene diferencias considerables con el tercer diseño; el primer diseño con columnas donde sus secciones son las mismas en los siete pisos, tiene los mayores desplazamientos, derivas y torsiones entre los tres diseños, lo que demuestra que no sea un buen diseño estructural.

El modelo más rígido y mejor estructuralmente de los tres diseños es el tercero, esto se debe a la gran estabilidad y rigidez que le otorgan los 4 muros de corte con secciones de 30cm x 2,70 m implantados en este diseño, aun así, se tengan 7 columnas con bajas secciones de 60 cm x 60 cm las cuales le otorgan flexibilidad a este diseño.

Comparando el primer y segundo diseño se tiene que estos son similares en los valores de los desplazamientos, derivas e ideo periodo, en las torsiones y más aún en el costo se encuentra una diferencia notable, esto nos indica que el segundo diseño es el mejor, el reducir las secciones en las columnas cada dos pisos ayudan al edificio a tener más estabilidad porque tiene que soportar menos peso desde la base y también a ayuda a reducir el costo.

En el tema costo-beneficio se tiene un pequeño análisis de precio unitario, el cual muestra que el tercer diseño donde se encuentran los muro de corte es el que demanda menos costo, el tener siete columnas con bajas secciones 60 cm x 60 cm ayuda a esto y tiene pequeños desplazamientos, derivas y torsiones; El segundo diseño donde las secciones de las columnas se reducen cada dos pisos presenta una diferencia considerable en la demanda de costo en relación con el tercer diseño; La diferencia en las secciones de las vigas entre estos dos diseños y que el tercer diseño tenga siete columnas con secciones pequeñas de 60 cm * 60 cm genera esta diferencia, el primer diseño es el que genera la mayor demanda en costo y presenta los mayores desplazamientos entre los tres diseños, haciendo que no tenga un buen rendimiento estructural, a diferencia del tercer diseño que es el mejor de los tres presentando un correcto equilibrio entre el costo y beneficio.

Referencias

1. Fuentes, S., González, L., Calderín, F., & Sánchez, Y. (2018). Consideraciones Acerca Del Diseño Sismorresistente de Edificios de Acero en Cuba. Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358509002/html/>, pp. 11-26.
2. Granizo, B. (2020).
3. Olaiz Guillén, S. (2021). Arquitectura Sismo-Resistente: Teoría Constructiva y Análisis de Casos de Estudio. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Trabajo Final de Grado. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/343693?show=full>, pp.132.
4. ONU. (2020). América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los desastres. Organización de las Naciones Unidas (ONU). <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>.
5. Selléz, J. (2021). Construcciones antisísmicas y sismorresistentes. Principios de funcionamiento y análisis de los aciertos y falencias de los modelos analógicos usados en la enseñanza. *Terræ Didactica*, 17(Publ.Contínua), e021022. doi: 10.20396/td.v17i00.8665273, pp.1-15.