

Artículo de investigación

# Influencia en costos de un edificio de diez pisos de hormigón con sistema dual, cambiando el espesor de los muros de corte

Miguel Ángel Constante-Castro <sup>[1]</sup>  Erik Gabriel Villavicencio-Cedeño <sup>[1]</sup> 



[1] Facultad de Ciencias Técnicas. Carrera de Ingeniería Civil. Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM). Jipijapa, Ecuador.

Autor para correspondencia: [erik.villavicencio@unesum.edu.ec](mailto:erik.villavicencio@unesum.edu.ec)

## Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar la influencia de los costos de seis edificios de diez niveles de hormigón con sistema dual variando el espesor de los muros. Para ello se desarrolló varios modelos matemáticos de seis edificios manteniendo la misma distribución de elementos estructurales, y a su vez se consideró alcanzar una deriva máxima inelástica aproximada al 1.80%, misma que se corroboró mediante un análisis dinámico espectral empleando los códigos de diseño: ACI 318-19 y NEC-15. La investigación tiene una tipología aplicada con un nivel de profundidad descriptiva y documental que hacen referencia a la recopilación de datos teóricos para el análisis lineal de las estructuras y el comportamiento de los muros de cortes. A través de un enfoque cuantitativo se presentan los resultados a manera de comparación – técnica, demostrando que no existen diferencias significativas en el comportamiento estructural, no así en el término económico se evidencia que el acero de refuerzo y el concreto influyen notablemente el edificio al aumentar el espesor de los muros de cortes.

Palabras Clave: *análisis lineal; muros de cortes; sistema dual; derivas de piso; presupuesto referencial.*

## Influence on costs of a ten-story concrete building with dual system by changing the thickness of the shear walls

### Abstract

The objective of this research was to determine the influence of the costs of six ten-story concrete buildings with a dual system by varying the thickness of the walls. To do this, several mathematical models of six buildings were developed, maintaining the same distribution of structural elements, and at the same time, it was considered to reach a maximum inelastic drift of approximately 1.80%, which was corroborated by a spectral dynamic analysis using the design codes: ACI 318-19 and NEC-15. The research has an applied typology with a level of descriptive and documentary depth that refers to the collection of theoretical data for the linear analysis of the structures and the behavior of the shear walls. Through a quantitative approach, the results are presented as a technical comparison, demonstrating that there are no significant differences in the structural behavior, but not in the economic term. It is evident that the reinforcing steel and the concrete significantly influence the building by increasing the thickness of the shear walls.

Keywords: *linear analysis; shear walls; dual system; floor drifts; reference budget.*

## 1. Introducción

En la actualidad, la optimización de costos en las obras civiles, sobre todo en construcciones de edificios con grandes alturas es un tema crucial tanto para ingenieros y constructores. Por ello, surge la necesidad de realizar comparaciones exhaustivas de varios modelos donde se evalúen las dimensiones de las estructuras y el volumen de los materiales que se utilizarán.

A su vez se debe analizar la importancia de las acciones sísmica que se pueden presentar en la zona o región donde se pretende desarrollar el proyecto, con el fin de garantizar la seguridad tanto de los ocupantes como del estado físico de la misma estructura.

Por lo tanto, el uso de un sistema dual tendrá una relevancia muy particular, dado que los muros de corte al trabajar en conjunto con los pórticos, ofrecen una solución integral al soportar grandes cargas y a su vez disipar energía sísmica de manera eficiente.

Dado que el lugar donde se ha planteado diseñar el edificio es la región costa del Ecuador (zona que presenta altas actividades sísmicas), el modelo arquitectónico tendrá una vista en planta y elevación regular para evitar posibles vulnerabilidades que en el diseño son muy comunes como: la excentricidad, torsión en la estructura, derivas de piso y el porcentaje de cortante absorbido por los muros de cortes.

Por tal motivo, la razón más evidente e importante de esta investigación es determinar a través de un análisis comparativo-técnico el comportamiento sísmico de los edificios mediante el método dinámico espectral, y evidenciar la influencia en costos de los edificios variando el espesor de los muros, mantenido una deriva inelástica aproximada de 1.80%

## 2. Fundamentación teórica

### 2.1. Sistema estructural con muros de corte

Este sistema garantiza que el edificio tenga mejor control de derivas, desplazamientos y fuerzas laterales que son causadas por el sismo estático y dinámico. Por esta y otras razones, el sistema dual debería ser tomado más en cuenta y realizar estudios pertinentes que ayuden a entender de una mejor manera el comportamiento óptimo de estos elementos (McCormac & Brown, 2017).

### 2.2. Distribución de muros en planta

La disposición de los muros es un criterio muy importante desde el planteamiento arquitectónico para que la estructura sea eficiente y lograr reducir la excentricidad, ya que la mala ubicación desplaza el centro de masa del centro de rigidez. La Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC - 15), al igual que otros códigos de diseño y construcción, hacen

hincapié que, en un edificio con sistema dual, los muros de corte deben ubicarse lo más simétrico posible, debido que cualquier excentricidad generará momentos de torsión (Ver **Figura 1**).

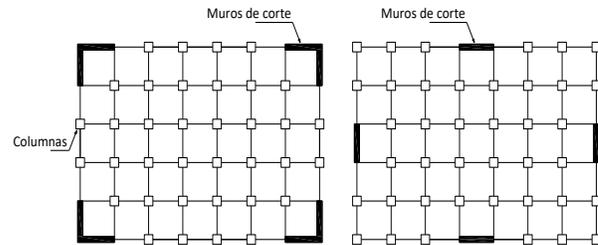


Figura 1: Distribución simétrica de muros cortantes.

Guerra & Chacón (2010) explica que el sistema disperso tiene la desventaja de producir torsión, debido que el centro de masa queda alejado del centro de rigidez, conociéndose a esta distancia como la excentricidad del edificio (Ver **Figura 2**).

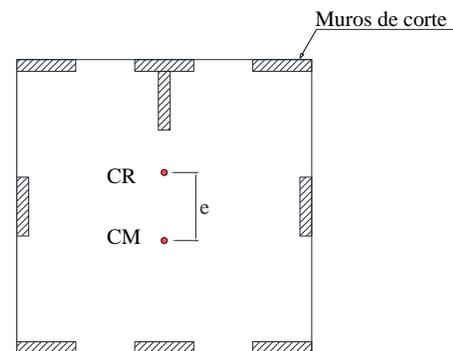


Figura 2: Distribución dispersa de muros genera excentricidades.  
Fuente: Guerra. M y Chacón. D (2010).

### 2.3 Elementos de bordes

En la sección 18.10.6.4 del American Concrete Institute (ACI 318-19), indica que se requerirá de elementos de bordes especial por dos condiciones, la primera, es cuando el esfuerzo a compresión es  $\sigma > 0.2f_c$ , y la segunda condición será cuando:

$$C \geq \frac{l_w}{600 * \left( \frac{1.5\delta_u}{h_{wcs}} \right)}$$

Donde:

$\delta_u$ : desplazamiento máximo del diseño estructural.

$h_{wcs}$ : altura del muro de corte

### 2.4 Agrietamiento en elementos estructurales según la NEC - 15

Las columnas deberán trabajar con un agrietamiento del  $0.8 I_g$  y las vigas con un  $0.5 I_g$ , mientras, para estructuras sin subsuelos, los muros de corte deben tener un agrietamiento del  $0.6 I_g$  en los dos primeros pisos.

**2.5 Espectro de respuesta elástico**

El espectro de respuesta elástico  $S_a$ , es utilizado para conocer las respuestas de las estructuras ante los efectos sísmicos, permitiendo evaluar y determinar si la edificación necesita ser reforzada para cumplir con los requerimientos del código local (NEC - SE - DS, 2015) (Ver **Figura 3**).

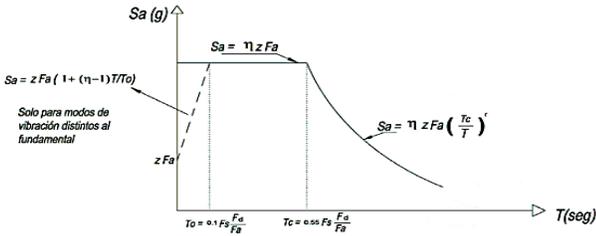


Figura 3: Adaptado del código NEC-SE-DS (2015) p. 33.

**2.6 Resistencia de diseño**

En la sección 11.5.1.1 del ACI 318-19 se menciona que cada combinación de diseño debe cumplir con  $\phi S_n \geq U$  en todas las secciones de los muros, es decir, las cargas y momentos nominal deberán satisfacer las solicitaciones actuantes en el muro (Comité ACI 318, 2019).

Donde:

$\phi$ : Factor de reducción de capacidad.

$S_n$ : Resistencia nominal del elemento estructural.

$U$ : Solicitación última que actúa en el elemento estructural.

**2.7 Análisis de Precios unitarios (APU)**

Cada rubro estará compuesto por: equipos, mano de obra, materiales, gastos administrativos y utilidad. Para el desarrollo de estos, se tomarán los salarios mínimos elaborados por el Departamento Técnico – Respaldo: Comisión CAMICON. Así mismo, se ocuparán los precios referenciales de los materiales, publicados por la cámara de la construcción del Ecuador.

**2.8 Software aplicado para la modelación y análisis estructural.**

El software Etabs V2023 ha sido una herramienta crucial para el análisis dinámico y estático de los elementos estructurales, incluyendo losas de entrepiso, vigas, columnas y muros de cortes (Villavicencio et al., 2024).

El *Etabs* es un programa de diseño estructural muy eficiente que permite optimizar la ejecución y resultados de las estructuras de hormigón armado que se encuentran ubicados en zonas de alta sismicidad (Villavicencio et al., 2024).

**3. Metodología**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo que se comprende a través de un análisis comparativo - técnico de los resultados del estudio sísmico y los costos de cada modelo diseñados. Es de alcance descriptivo y según Mejía

(2021), la investigación descriptiva se utiliza para la recolección de datos numéricos y archivos textuales sobre un tema relevante, midiendo bases de datos para realizar comparaciones que ayuden a comprender los aspectos más importantes de una investigación.

Mediante el diseño de seis edificios de hormigón armado con sistema dual (población), de diez niveles cada uno (muestra), a partir del cambio del espesor en los muros de corte, se demostrará la influencia de costos.

Para esta investigación se tomó como sitio de estudio a la región costa del Ecuador aplicando su respectiva metodología de diseño. Se utilizó hojas de Excel para dar inicio con el prediseño de los elementos estructurales y evaluar su comportamiento una vez hayan sido modelado en el software *Etabs* V2023.

**4. Resultados**

**4.1 Descripción de la estructura**

El edificio está conformado de hormigón armado de diez niveles con una altura de entre piso de 3.20 m. Se realizarán seis modelos matemáticos cambiando el espesor en sus muros de corte, siendo estos de: 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm y 45 cm.

El espectro de diseño se consideró un suelo tipo D, con características de peligro sísmico 0.50. La resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón será  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , el acero de refuerzo tendrá un esfuerzo de cedencia de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Para las cuantías de acero de los elementos estructurales se tomarán las consideraciones de diseño recomendadas por el NEC – 15 y ACI 318-19 (Ver **Figura 4**).

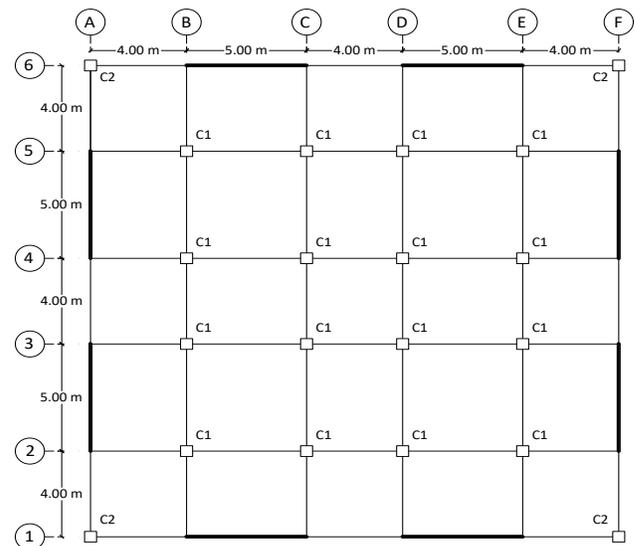


Figura 4: Vista en planta del edificio a analizar.

## 4.2 Parámetros generales para el espectro de respuesta elástico

La **Tabla 1** muestra los datos necesarios en la investigación para generar el espectro de respuesta elástico de la construcción.

Tabla 1: Resumen de datos para generar el espectro de respuesta elástico

Parámetro	Variable	Valor	Unidades
Tipo de suelo		D	
Zona sísmica		VI	
Factor de aceleración	Z	0.500	S/U
Factor de sitio	Fa	1.120	S/U
Factor de sitio	Fd	1.110	S/U
Factor de sitio	Fs	1.400	S/U
Factor de importancia	I	1.000	S/U
Coef de ductilidad	R	8.000	S/U
Irreg en elevación	$\emptyset_E$	1.000	S/U
Irreg en planta	$\emptyset_P$	1.000	S/U
Altura edificio	h	32.00	m
Coefficiente Ct	Ct	0.055	S/U
Coefficiente para el periodo	$\alpha$	0.750	S/U
Coef de suelo	r	1.000	S/U
Ampl espectral	n	1.800	S/U
Periodo límite inferior	To	0.139	seg
Periodo de la estructura	T	0.740	seg
Periodo límite superior	Tc	0.763	seg
Aceleración espectral	Sa	1.008	g
Coef sísmico	C	0.126	
Coef relacionado a T	K	1.120	

## 4.3 Espectro Elástico e Inelástico

La **Figura 5** muestra el espectro elástico e inelástico correspondiente al tipo de suelo D, utilizado en la investigación.

## 4.4 Asignar agrietamiento en los elementos estructurales

**Columnas:** Según el NEC – 15, la sección de la columna tendrá un porcentaje de agrietamiento del 80 % (Ver **Figura 6**).

**Vigas:** Según el NEC – 15, la sección de la viga tendrá un porcentaje de agrietamiento del 50 % (Ver **Figura 7**).

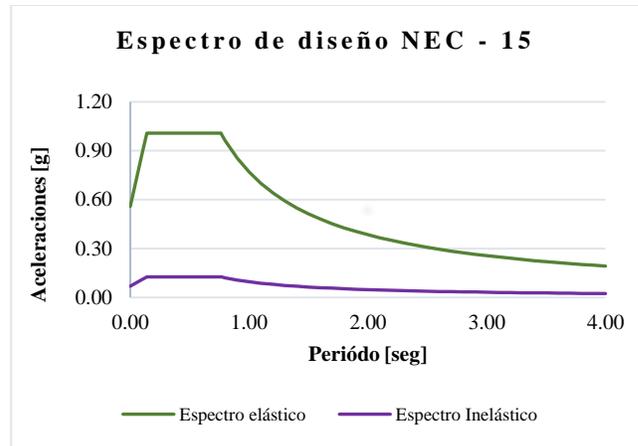


Figura 5: Espectro elástico e inelástico correspondiente a un tipo de suelo D

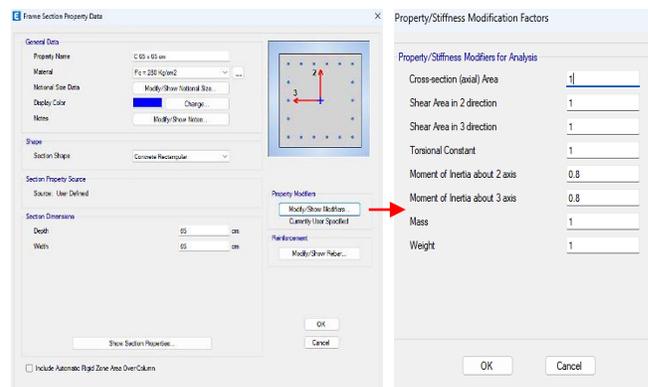


Figura 6: Agrietamiento en las columnas.

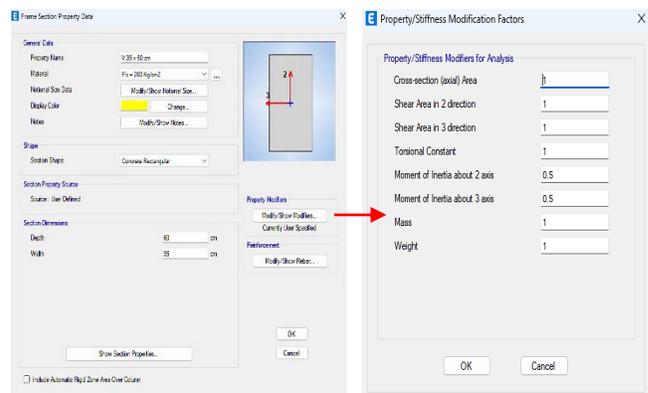


Figura 7: Agrietamiento en las vigas

**Muros:** Según el NEC – 15, para una estructura sin subsuelo el muro tendrá un agrietamiento del 60 % en los dos primeros pisos (Ver **Figura 8**).

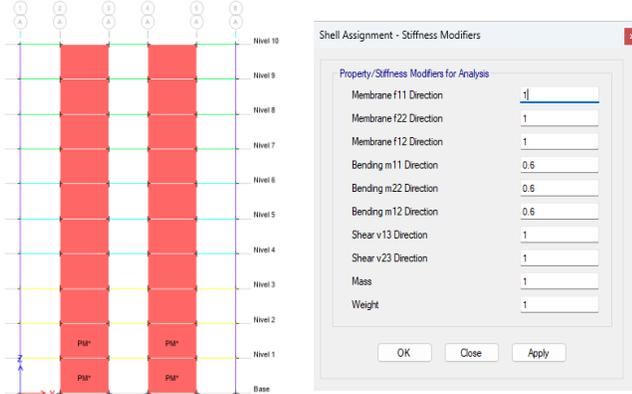


Figura 8: Agrietamiento en los muros de cortes considerando los dos primeros niveles.

4.5 Modelamiento final de los edificios

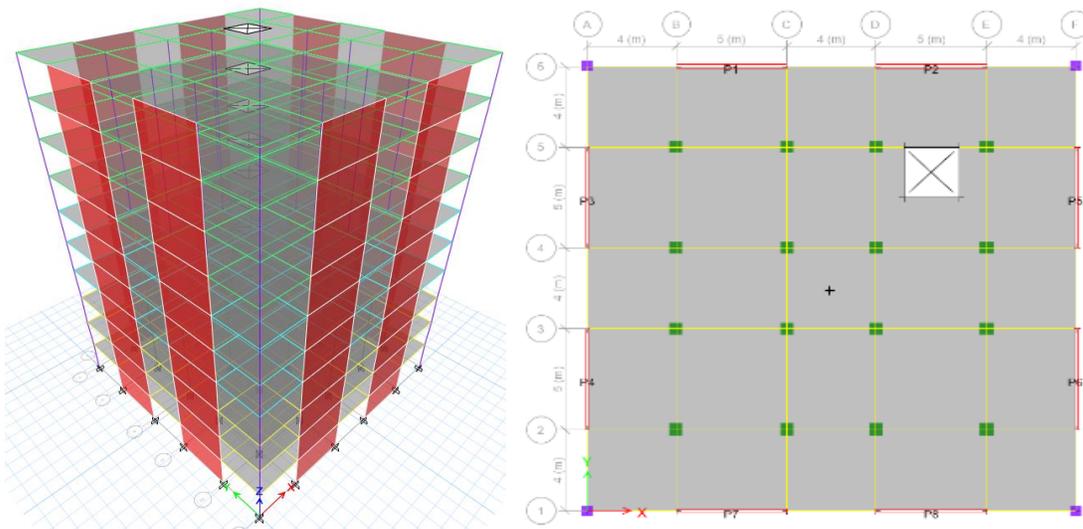


Figura 9: Fibras añadidas a la matriz de abobe y propiedades mejoradas.

A. Edificio con muros de cortes de 20 cm de espesor.

Tabla 2: Resumen de elementos estructurales y cargas

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	55 x 55	50 x 50	30 x 50	20	150	200
9	55 x 55	50 x 50	30 x 50	20	403	200
8	55 x 55	50 x 50	30 x 50	20	403	200
7	55 x 55	50 x 50	30 x 50	20	403	200
6	60 x 60	50 x 50	35 x 55	20	403	250
5	60 x 60	50 x 50	35 x 55	20	403	250
4	60 x 60	50 x 50	35 x 55	20	403	250
3	65 x 65	50 x 50	40 x 60	20	403	480
2	65 x 65	50 x 50	40 x 60	20	403	480
1	65 x 65	50 x 50	40 x 60	20	403	480

B. Edificio con muros de cortes de 25 cm de espesor.

Tabla 3: Resumen de elementos estructurales y cargas

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	45 x 45	45 x 45	30 x 50	25	150	200
9	45 x 45	45 x 45	30 x 50	25	403	200
8	45 x 45	45 x 45	30 x 50	25	403	200
7	45 x 45	45 x 45	30 x 50	25	403	200
6	50 x 50	45 x 45	30 x 50	25	403	250
5	50 x 50	45 x 45	30 x 50	25	403	250
4	50 x 50	45 x 45	30 x 50	25	403	250
3	55 x 55	45 x 45	30 x 60	25	403	480
2	55 x 55	45 x 45	30 x 60	25	403	480
1	55 x 55	45 x 45	30 x 60	25	403	480

A continuación, se presenta la ubicación de los muros de corte en elevación y en planta de los modelos utilizados (Ver Figura 9).

Como se aprecia en la figura, el edificio conserva características sísmicas de vista en planta y elevación regular con muros de corte ubicados de manera simétrica. Después de varias iteraciones para obtener una deriva del 1.80% y lograr que los muros trabajen con más del 75% del cortante basal, se obtuvieron los siguientes datos:

4.5.1. Resumen de secciones y cargas en los edificios

Se ha considerado mantener constantes las sobrecargas muertas y las cargas vivas para todos los edificios con el propósito de ver su comportamiento al cambiar las secciones en los muros, vigas y columnas. Seguidamente se presenta los antes mencionado (Ver Tabla 2 – 7).

**C. Edificio con muros de cortes de 30 cm de espesor.**

*Tabla 4: Resumen de elementos estructurales y cargas*

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	45 x 45	50 x 50	25 x 45	30	150	200
9	45 x 45	50 x 50	25 x 45	30	403	200
8	45 x 45	50 x 50	25 x 45	30	403	200
7	45 x 45	50 x 50	25 x 45	30	403	200
6	50 x 50	50 x 50	30 x 50	30	403	250
5	50 x 50	50 x 50	30 x 50	30	403	250
4	50 x 50	50 x 50	30 x 50	30	403	250
3	55 x 55	50 x 50	35 x 55	30	403	480
2	55 x 55	50 x 50	35 x 55	30	403	480
1	55 x 55	50 x 50	35 x 55	30	403	480

**D. Edificio con muros de cortes de 35 cm de espesor.**

*Tabla 5: Resumen de elementos estructurales y cargas*

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	45 x 45	50 x 50	25 x 45	35	150	200
9	45 x 45	50 x 50	25 x 45	35	403	200
8	45 x 45	50 x 50	25 x 45	35	403	200
7	45 x 45	50 x 50	25 x 45	35	403	200
6	50 x 50	50 x 50	30 x 45	35	403	250
5	50 x 50	50 x 50	30 x 45	35	403	250
4	50 x 50	50 x 50	30 x 45	35	403	250
3	55 x 55	50 x 50	30 x 50	35	403	480
2	55 x 55	50 x 50	30 x 50	35	403	480
1	55 x 55	50 x 50	30 x 50	35	403	480

**E. Edificio con muros de cortes de 40 cm de espesor.**

*Tabla 6: Resumen de elementos estructurales y cargas*

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	45 x 45	50 x 50	25 x 45	40	150	200
9	45 x 45	50 x 50	25 x 45	40	403	200
8	45 x 45	50 x 50	25 x 45	40	403	200
7	45 x 45	50 x 50	25 x 45	40	403	200
6	50 x 50	50 x 50	30 x 40	40	403	250
5	50 x 50	50 x 50	30 x 40	40	403	250
4	50 x 50	50 x 50	30 x 40	40	403	250
3	55 x 55	50 x 50	30 x 45	40	403	480
2	55 x 55	50 x 50	30 x 45	40	403	480
1	55 x 55	50 x 50	30 x 45	40	403	480

**F. Edificio con muros de cortes de 45 cm de espesor.**

*Tabla 7: Resumen de elementos estructurales y cargas*

Nº	Columnas		Vigas [cm]	Muro [cm]	Carga muerta [Kg/cm²]	Carga viva [Kg/cm]
	C <sub>1</sub> [cm]	C <sub>2</sub> [cm]				
10	45 x 45	45 x 45	25 x 40	45	150	200
9	45 x 45	45 x 45	25 x 40	45	403	200
8	45 x 45	45 x 45	25 x 40	45	403	200
7	45 x 45	45 x 45	25 x 40	45	403	200
6	50 x 50	45 x 45	25 x 45	45	403	250
5	50 x 50	45 x 45	25 x 45	45	403	250
4	50 x 50	45 x 45	25 x 45	45	403	250
3	55 x 55	45 x 45	25 x 45	45	403	480
2	55 x 55	45 x 45	25 x 45	45	403	480
1	55 x 55	45 x 45	25 x 45	45	403	480

Como muestran las tablas de resumen, el edificio tendrá columnas y vigas bastante robustas cuando los muros de corte son de 20 cm, pero aumentar su espesor indica cambios de secciones, especialmente en las vigas.

Comparando las vigas del edificio A que conservan buenas inercias y el edificio F que mantiene al límite las dimensiones según indica la NEC – 15, donde  $b_w \geq 25$  cm, se concluye que un muro robusto controlará en su mayoría las fuerzas laterales del edificio mientras que las vigas aportarán en el control de las cargas gravitatorias.

**4.6 Análisis comparativo del comportamiento sísmico en los edificios modelados**

**4.6 1. Periodos de vibración**

*Tabla 8: Comparación del periodo T según cambia el espesor en los muros de cortes.*

Modo	Muro 20 cm	Muro 25 cm	Muro 30 cm	Muro 35 cm	Muro 40 cm	Muro 45 cm
	[seg]	[seg]	[seg]	[seg]	[seg]	[seg]
1.00	1.06	1.06	1.04	1.05	1.04	1.03
2.00	1.06	1.06	1.04	1.05	1.04	1.03
3.00	0.75	0.74	0.72	0.72	0.71	0.70
4.00	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21
5.00	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21
6.00	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14
7.00	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09
8.00	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09
9.00	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
10.00	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
11.00	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
12.00	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
13.00	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
14.00	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
15.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
16.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03

17.00	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
18.00	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
19.00	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
20.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
21.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
22.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
23.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
24.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
25.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
26.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
27.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
28.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
29.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
30.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02

Como se puede apreciar en la **Tabla 8**, al aumentar el espesor en los muros de cortes, se reduce de manera mínima el periodo fundamental de vibración, esto se debe a que se trabajó con una deriva aproximada de todos los modelos del 1.80 %

Para una mejor visualización se muestra en la siguiente figura lo mencionado en el párrafo anterior (Ver **Figura 10**).

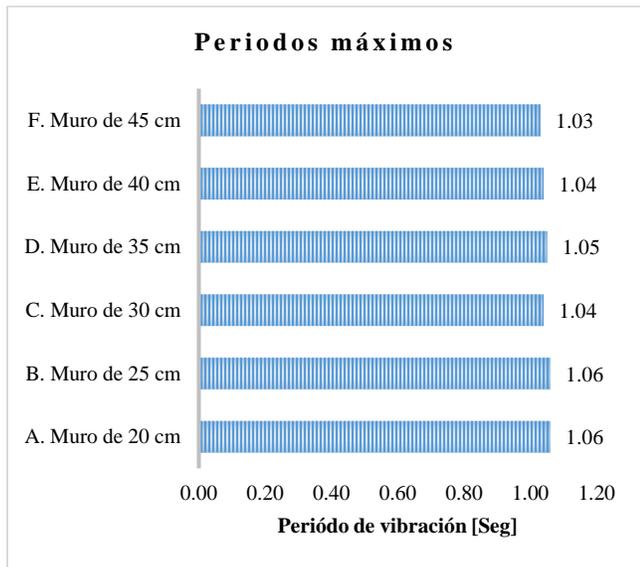


Figura 10: Periodos de vibración fundamental de cada edificio.

Se observa que todos los edificios tienen el mismo impacto de rigidez, observándose diferencias casi imperceptibles. Entre ellos se muestra un máximo y un mínimo que corresponde al primer modelo (A) y último modelo (F), con una tendencia porcentual del 2.83% resultando una diferencia de 0.03 seg.

#### 4.6.2 Cortante basal

Se puede apreciar que la fuerza máxima acumulada en la base se da en el edificio con muros de 45 cm de espesor,

mientras que, el cortante menor será para el edificio con muros de 25 cm de espesor, alcanzando una tendencia diferencial del 6.12% entre ellos (Ver **Figura 11**).

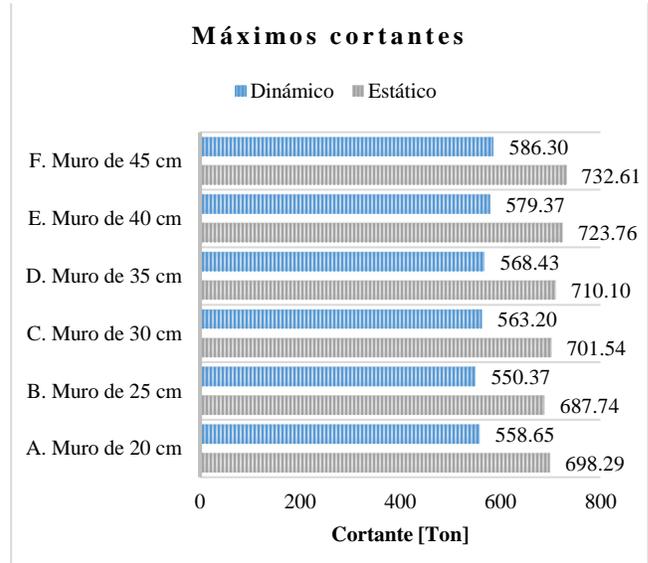


Figura 11: Cortantes que actúan en la base de cada edificio.

#### 4.6.3 Fuerza cortante absorbido por los muros

Desde el modelo A hasta el modelo F, los muros de cortes cumplen el requisito sísmico al absorber por lo menos el 75% del cortante basal estático (Ver **Figura 12**).

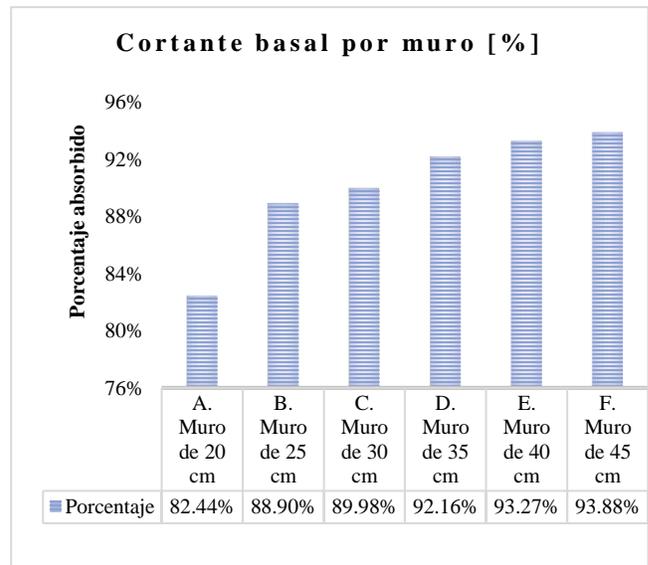


Figura 12: Porcentaje de cortante que controlan los muros

#### 4.6.4 Derivas inelásticas

Se muestran los resultados de las derivas inelásticas de todos los edificios, teniendo para el sismo estático y dinámico valores muy similares para ambas direcciones, observándose que se cumple con una deriva aproximada al 1,80%, a partir del séptimo piso (Ver **Figura 13**).

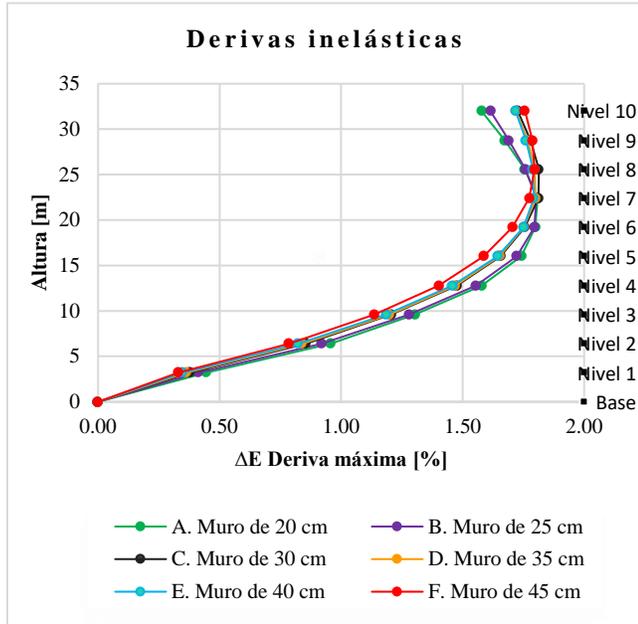


Figura 13: Derivas inelásticas máximas en cada edificio.

La estimación del porcentaje para el estudio ha sido tomada del sismo estático, ya que esta es la más crítica en comparación del sismo dinámico (Ver **Figura 14**).

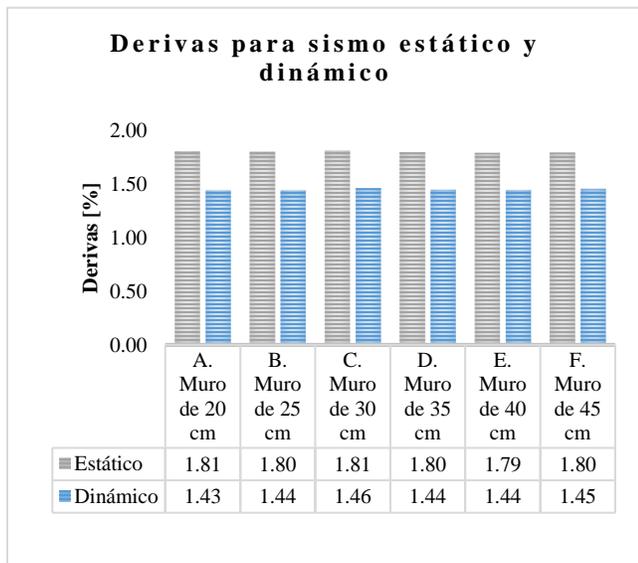


Figura 14: Derivas inelásticas para el sismo estático y dinámico de cada edificio.

Al ir variando el espesor de los muros de cortes el edificio va teniendo mayor rigidez, por lo tanto, se debe cambiar dimensiones en las vigas y columnas, sobre todo las secciones de las vigas, dado el hecho que son elementos que aportan bastante rigidez en los edificios y para cumplir con la deriva inelástica aproximada del 1.80%

#### 4.6.5 Desplazamientos máximos

Se evaluaron los valores máximos y mínimos, observándose que al aumentar el espesor del muro de corte existirán reducciones mínimas del desplazamiento máximo.

Por lo que se determinó mediante las curvas mostradas en la **Figura 15** que el edificio (F) con muros de 45 cm de espesor, es el más rígido tanto en los pisos inferiores como superiores.

Mientras tanto el edificio más flexible, será (A) que trabaja muros de 20 cm de espesor alcanzando un  $\Delta n$  de 7.80 cm.

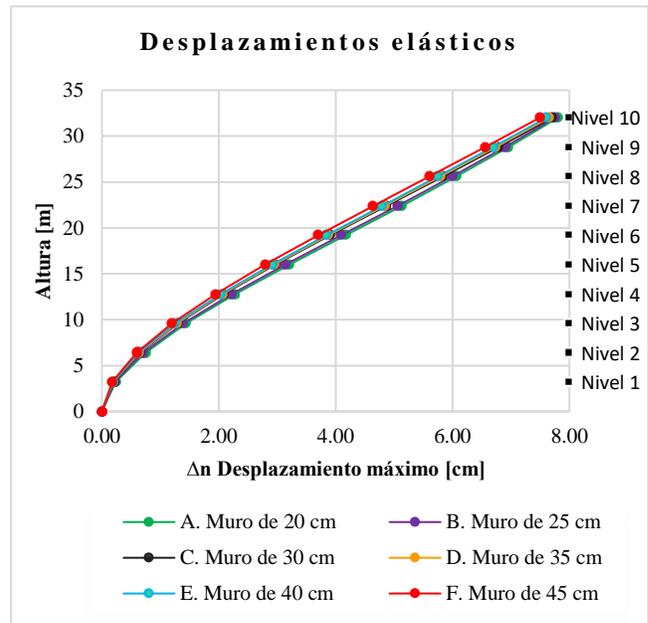


Figura 15: Desplazamientos máximos para cada edificio.

Esto indica que tener columnas y vigas bastante robustas en conjunto con muros delgados proporcionará menor rigidez.

Mientras que tener columnas más pequeñas y vigas con menores inercias en conjunto con un muro de corte más robusto aportará mayor rigidez al edificio (Ver **Figura 16**).

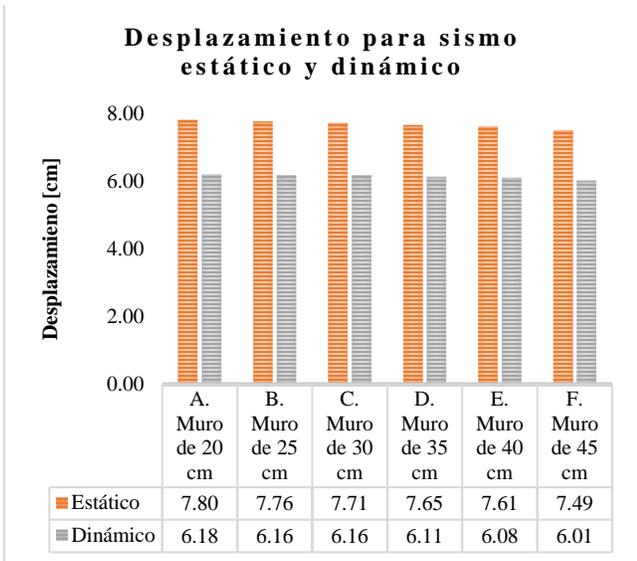


Figura 16: Desplazamientos elásticos máximos para el sismo estático y dinámico de cada edificio.

#### 4.7 Análisis de los muros de cortes

En el Etabs existen formas para analizar un muro de corte, pero para este diseño al muro se lo verificó mediante el siguiente análisis:

##### 4.7.1 Método simplificado con acero repartido uniformemente

Este método consiste en asignar un acero repartido de manera uniforme en toda la sección del muro, considerar el espaciamiento entre varillas y el recubrimiento libre. Con esto el programa evalúa los datos, brindándonos la información respectiva del análisis, mismos que deberán ser verificados de manera manual con el fin de corroborar que el programa nos da resultados aproximados (Ver Figura 17).

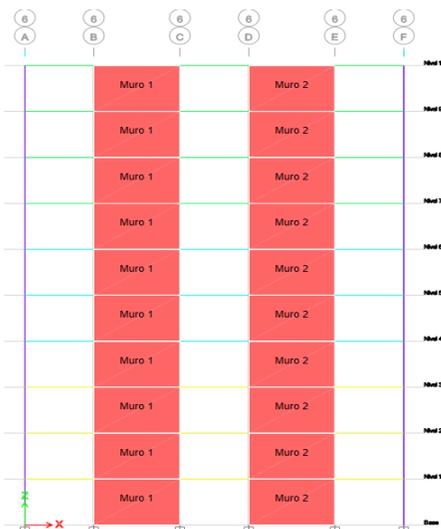


Figura 17: Muro 1 escogido del edificio A cuando los muros son de 20 cm de espesor.

Para este chequeo se escogió al “Muro 1” mostrado en la Figura 17, y tratándose de una estructura simétrica los muros presentan las mismas solicitaciones, por lo tanto, este diseño servirá para los otros muros que conforman al edificio.

Este proceso se lo realiza para determinar dos aspectos importantes; la profundidad del eje neutro y el refuerzo o cuantía necesaria que se necesita en el muro (Ver Figura 18).

Item	Value
01 Design this Pier?	Yes
02 LL Reduction Factor	0.495847
03 Design is Seismic?	Yes
04 Pier Section Type	Uniform Reinforcing
05 End/Corner Bar Name	18
06 Edge Bar Name	18
07 Edge Bar Spacing	20
08 Clear Cover	3
09 Material	Fc = 280 Kg/cm2
10 Check/Design Reinforcing	Check
11 Check Compression Block Depth for BZ?	No

Figura 18: Distribución del acero de manera uniforme.

##### 4.7.2 Verificación de elementos de bordes

Boundary Element Check (ACI 18.10.6.3, 18.10.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (cm)	Governing Combo	P <sub>v</sub> tonf	M <sub>v</sub> tonf-m	Stress Comp kgf/cm <sup>2</sup>	Stress Limit kgf/cm <sup>2</sup>	C Depth cm	C Limit cm
Top-Left	Leg 1	106.69	1.2D + L + Sd <sub>v</sub>	379.24	-308.25	74.914	56	156.69	111.11
Top-Right	Leg 1	106.69	1.2D + L + Sd <sub>v</sub>	379.24	308.2	74.907	56	156.69	111.11
Bottom-Left	Leg 1	108.34	1.2D + L + Sd <sub>v</sub>	388.46	-433.7	90.891	56	158.34	111.11
Bottom-Right	Leg 1	108.34	1.2D + L + Sd <sub>v</sub>	388.46	432.85	90.788	56	158.34	111.11

Figura 19: C Depth supera a C limit al igual que Stress Comp también supera al Stress limit.

##### 4.7.3 Comprobación de la profundidad del eje neutro

Mediante el método iterativo se comprueba que al analizar con un C = 157.94 cm se cumple la igualdad, y comparando con el valor C que proporciona el Etabs, el cual resultó ser 158.20 cm, se evidencia que existe una aproximación (Ver Error! Reference source not found.).

Tabla 9: Fuerza axial cuando el valor de la profundidad del eje neutro C = 157.94 cm

Distancia di [cm]	Deformación unitaria [esi]	Esfuerzos fs = εs * E [kg/cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzos fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza axial fs * Avar [kg/cm <sup>2</sup> ]
d <sub>1</sub> 5	ε <sub>1</sub> 0.00291	fs <sub>1</sub> 6101	4200	21336.00
d <sub>2</sub> 25	ε <sub>2</sub> 0.00253	fs <sub>2</sub> 5303	4200	21336.00
d <sub>3</sub> 45	ε <sub>3</sub> 0.00215	fs <sub>3</sub> 4505	4200	21336.00
d <sub>4</sub> 65	ε <sub>4</sub> 0.00177	fs <sub>4</sub> 3707	3707	18832.80
d <sub>5</sub> 85	ε <sub>5</sub> 0.00139	fs <sub>5</sub> 2909	2909	14780.12
d <sub>6</sub> 105	ε <sub>6</sub> 0.00101	fs <sub>6</sub> 2112	2112	10727.44

d <sub>7</sub>	125	ε <sub>7</sub>	0.00063	f <sub>s7</sub>	1314	1314	6674.76
d <sub>8</sub>	145	ε <sub>8</sub>	0.00025	f <sub>s8</sub>	516	516	2622.08
d <sub>9</sub>	165	ε <sub>9</sub>	-0.00013	f <sub>s9</sub>	-282	-282	-1430.60
d <sub>10</sub>	185	ε <sub>10</sub>	-0.00051	f <sub>s10</sub>	-1079	-1079	-5483.27
d <sub>11</sub>	205	ε <sub>11</sub>	-0.00089	f <sub>s11</sub>	-1877	-1877	-9535.95
d <sub>12</sub>	225	ε <sub>12</sub>	-0.00127	f <sub>s12</sub>	-2675	-2675	-13588.63
d <sub>13</sub>	245	ε <sub>13</sub>	-0.00165	f <sub>s13</sub>	-3473	-3473	-17641.31
d <sub>14</sub>	265	ε <sub>14</sub>	-0.00203	f <sub>s14</sub>	-4270	-4200	-21336.00
d <sub>15</sub>	285	ε <sub>15</sub>	-0.00241	f <sub>s15</sub>	-5068	-4200	-21336.00
d <sub>16</sub>	305	ε <sub>16</sub>	-0.00279	f <sub>s16</sub>	-5866	-4200	-21336.00
d <sub>17</sub>	325	ε <sub>17</sub>	-0.00317	f <sub>s17</sub>	-6664	-4200	-21336.00
d <sub>18</sub>	345	ε <sub>18</sub>	-0.00355	f <sub>s18</sub>	-7462	-4200	-21336.00
d <sub>19</sub>	365	ε <sub>19</sub>	-0.00393	f <sub>s19</sub>	-8259	-4200	-21336.00
d <sub>20</sub>	385	ε <sub>20</sub>	-0.00431	f <sub>s20</sub>	-9057	-4200	-21336.00
d <sub>21</sub>	405	ε <sub>21</sub>	-0.00469	f <sub>s21</sub>	-9855	-4200	-21336.00
d <sub>22</sub>	425	ε <sub>22</sub>	-0.00507	f <sub>s22</sub>	-10653	-4200	-21336.00
d <sub>23</sub>	445	ε <sub>23</sub>	-0.00545	f <sub>s23</sub>	-11450	-4200	-21336.00
d <sub>24</sub>	465	ε <sub>24</sub>	-0.00583	f <sub>s24</sub>	-12248	-4200	-21336.00
d <sub>25</sub>	485	ε <sub>25</sub>	-0.00621	f <sub>s25</sub>	-13046	-4200	-21336.00
d <sub>26</sub>	505	ε <sub>26</sub>	-0.00659	f <sub>s26</sub>	-13844	-4200	-21336.00
<b>Sumatoria de fuerzas axiales</b>							<b>-207402.56</b>

#### 4.7.4 Diagramas de interacción con acero asignado

En primera instancia se realizó el diseño por flexión, viéndose en la Figura 20 que las solicitaciones están dentro de la curva.

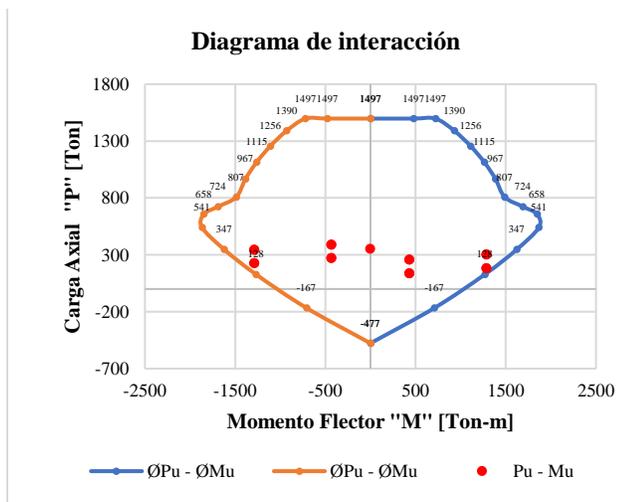


Figura 20: Diagrama de interacción incluido  $\phi = 0.65$

Siguiente se realizó el diseño por corte o capacidad, cumpliendo según indica el ACI 3818-19, excluyendo el valor de  $\phi$  y a su vez aumentar 1.25 Fy (Ver Figura 21).

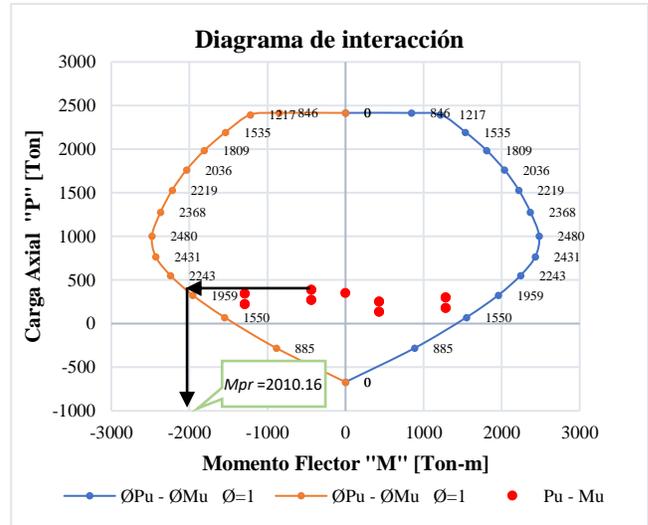


Figura 21: Diagrama de interacción con  $\phi = 1$ , aumentando 1.25Fy en Etabs.

Cabe recalcar que los elementos de bordes trabajaron con una cuantía entre el 1% y el 3% , mientras que el alma del muro trabajó tanto longitudinal como transversal según indica el ACI 318-19, con una cuantía no menos del 0,0025.

Los muros de los otros edificios se diseñaron bajo el mismo concepto, cumpliendo con las normas estipuladas en esta investigación.

#### 4.8 Análisis comparativo de costos

En esta sección se presentarán los resultados de los precios unitarios (APU), considerando los siguientes rubros:

- H. simple, columnas  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- H. simple, vigas  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- H. simple, losas  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- H. simple, muros de corte  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo  $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$

##### 4.8.1 Precio del hormigón por cada edificio

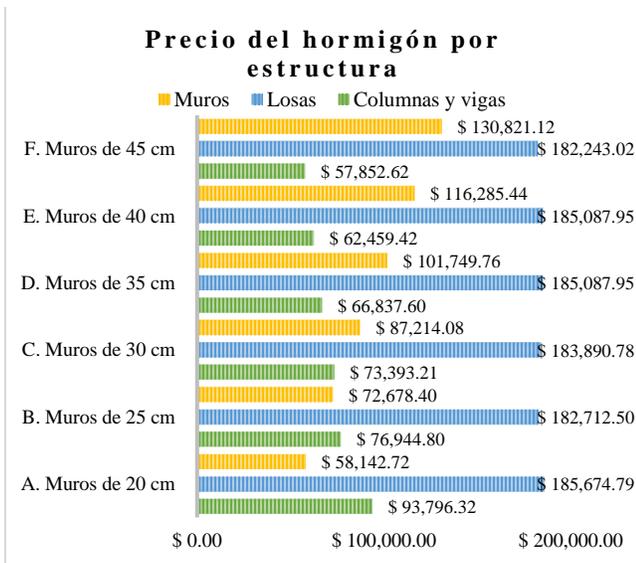


Figura 22: Precios referenciales del hormigón por elemento estructural.

**Hormigón en los muros**

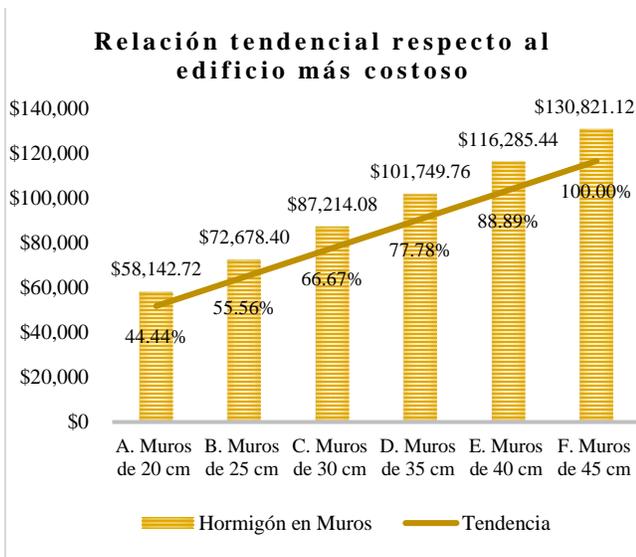


Figura 23: Relación de crecimiento en los muros de cortes. Respecto al hormigón en los muros de corte, se hace bastante evidente que exista este incremento debido al cambio de sección en los mismos, con incremento promedio del 11.11% que equivale a \$1.4535,68.

**Hormigón en losas aligeradas**

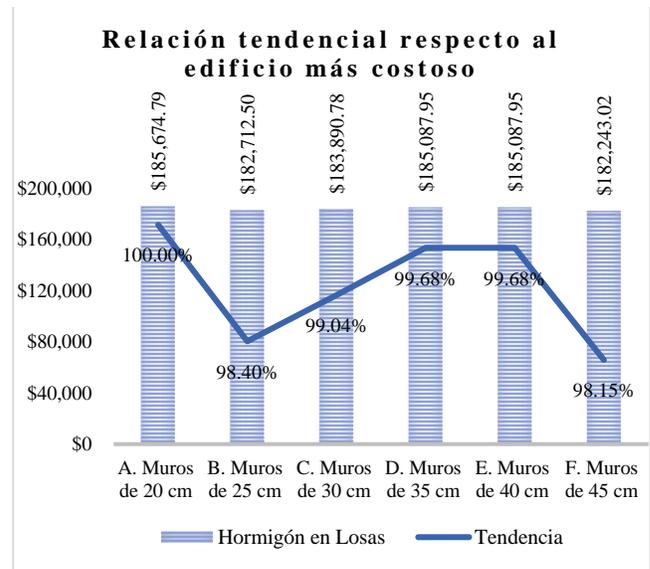


Figura 24: Relación de crecimiento en losas conforme cambia el espesor en los muros de cortes.

Respecto al hormigón en las losas aligeradas, existen pequeños cambios de costos, debido que al aumentar el espesor en los muros se reducen las bases de las vigas, ayudando ahorrar un porcentaje promedio del 0.84% de este material que equivalen a \$1.558,63.

**Hormigón en vigas y columnas**

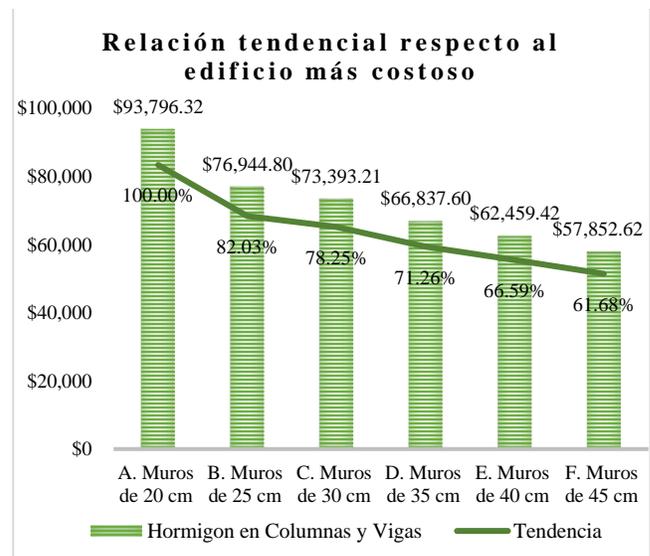


Figura 25: Relación de crecimiento en columnas y vigas.

Respecto al precio del hormigón en las vigas y columnas, se hace evidente que el costo va a decrecer un 17.97% entre el edificio A y B, en los edificios siguientes se mantiene un decremento de costos promedio aproximado del 5%.

#### 4.8.2 Precio del acero por cada edificio

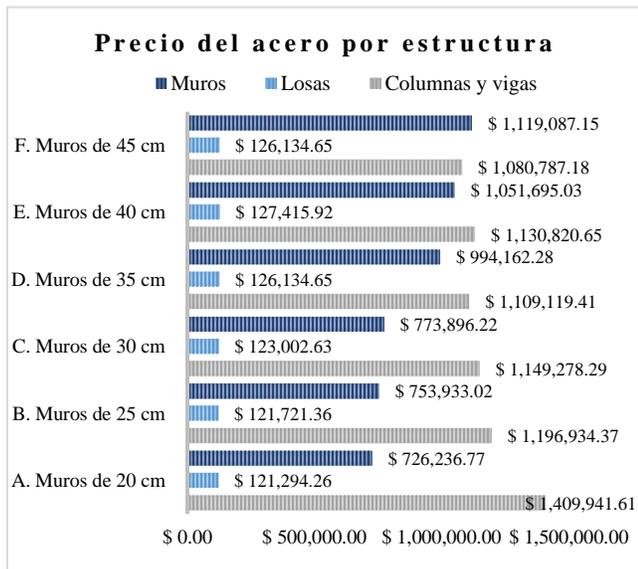


Figura 26: Precios referenciales del acero por elemento estructural

Aplicando el mismo concepto se determinó el costo referencial del acero de refuerzo en los muros, losas y vigas y columnas. El propósito de realizar un análisis por separado es para determinar cómo afecta este cambio de secciones a los elementos mencionados.

#### Acero en los muros

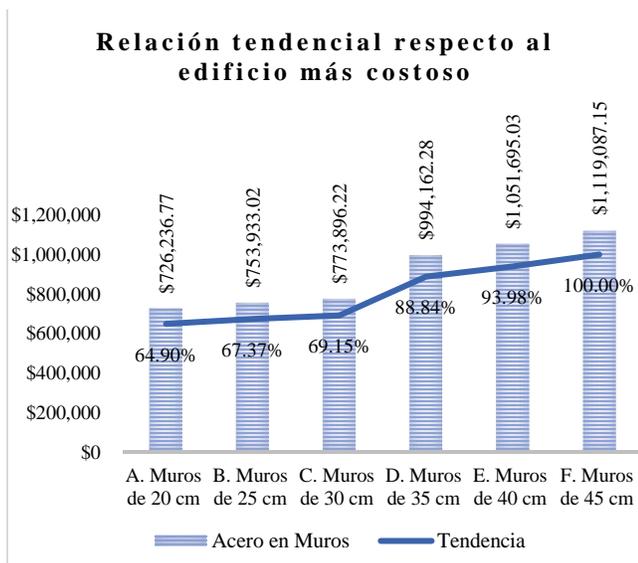


Figura 27: Relación de crecimiento en acero en los muros.

En los edificios A, B y C existe un incremento promedio del 2.25%, pero al utilizar muros de mayor espesor existe un salto gradual, reflejándose entre C y D un promedio de

crecimiento del 19.69%. Mientras tanto entre los edificios del D, E y F existe un crecimiento aproximado del 5.6%.

#### Acero en las losas aligeradas

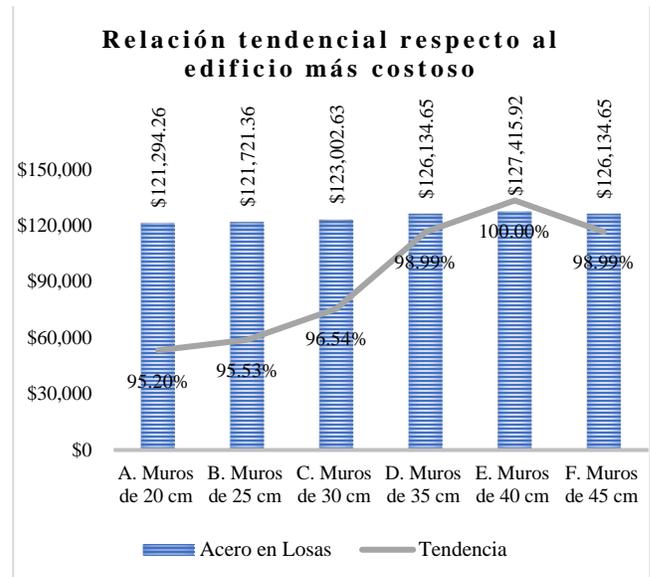


Figura 28: Relación de crecimiento de acero en las losas.

Al ir aumentando el espesor en los muros de cortes también influye que el acero tenga cierto aumento en porcentajes mínimos con un promedio aproximado del 0,96%.

#### Acero en las vigas y columnas

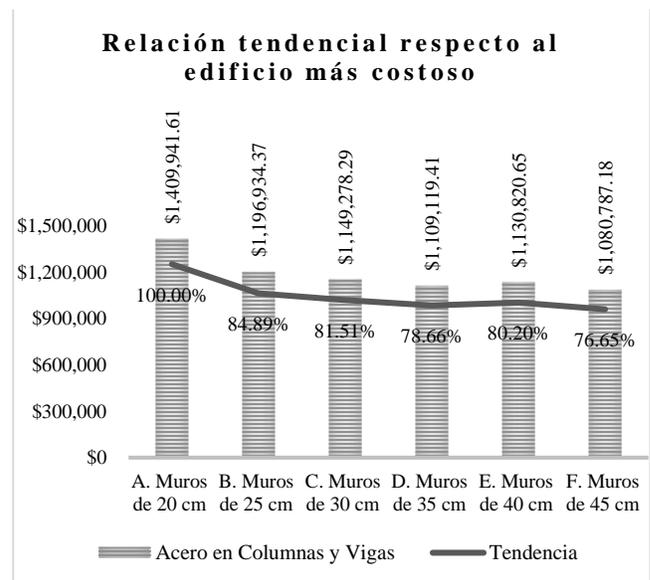


Figura 29: Relación de crecimiento de acero en las vigas y columnas.

Se evidencia un decremento en los costos del acero en vigas y columnas debido al cambio de secciones, teniendo una diferencia del 15.11% entre el edificio A y B, mientras, en los edificios B, C, D, E y F existe una reducción de un promedio aproximado del 3%.

### 4.8.3 Precios totales del hormigón y el acero

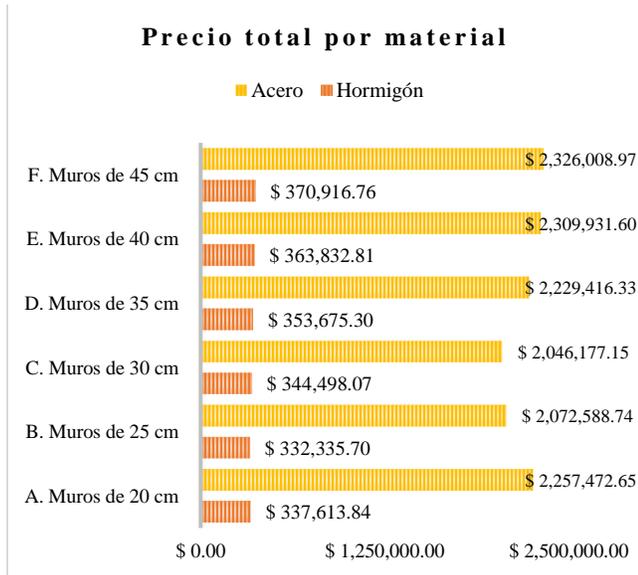


Figura 30: Precios referenciales del hormigón y acero

La **Figura 30** muestra el resumen de los precios referenciales en hormigón y acero que exige cada edificio, notándose que el edificio más económico se determinará entre el B y C.

### Precio total del Hormigón

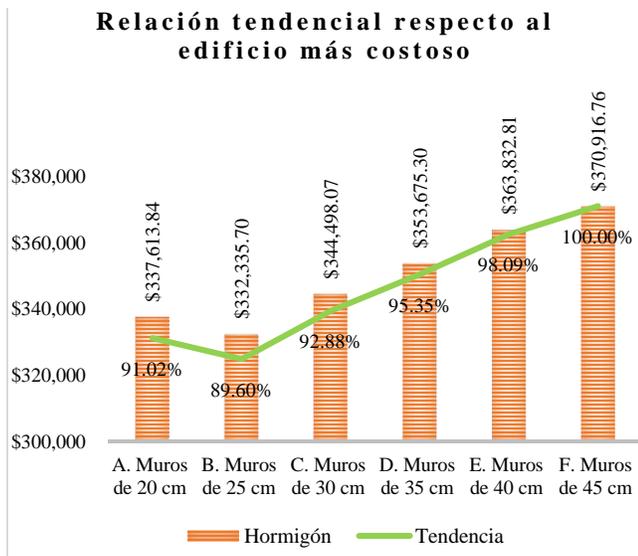


Figura 31: Relación de crecimiento del precio total del hormigón en todo el edificio.

De acuerdo con la **Figura 31**, existe un pequeño decremento de precios entre el edificio A y B con una diferencia del 1.42%. Esto indica que aumentar el espesor de un muro bastante delgado cuando a su vez se reducen drásticamente las secciones de vigas y columnas, se utilizará menor hormigón en la construcción.

Al seguir aumentando el espesor de los muros ya no cambiaría gradualmente la sección de las columnas y vigas, ya que este asociado al tema de las derivas.

Es por esto que desde el edificio B hasta el F existe un crecimiento promedio aproximado del 2.08%. Este incremento se produce debido a que los muros van alcanzando espesores mucho mayores y las reducciones mínimas en vigas y columnas ya no son suficiente para que este material se vea reducido como se mostró al inicio.

### Precio total del Acero

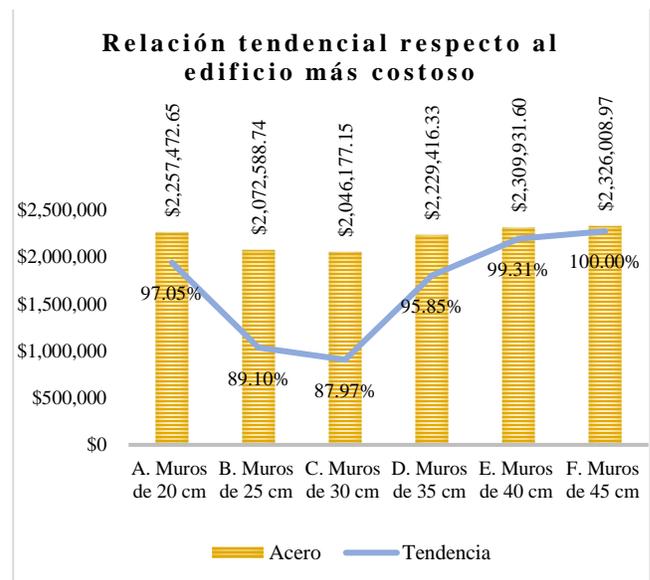


Figura 32: Relación de crecimiento del precio total del acero en todo el edificio.

De inicio se muestra una reducción de acero entre A, B y C, ya que en estos tres primeros edificios son los mayormente han tenido cambios de secciones en las vigas y columnas, además, los muros no tienen muchas diferencias de espesores entre ellos.

Pero al seguir aumentando el espesor de los muros nuevamente comenzará a incrementar la demanda de este material con un promedio aproximadamente del 5.67%. Cabe resaltar que a partir del edificio D las columnas mantienen las mismas dimensiones, pero en las vigas sí que existen pequeños cambios, y tener muros más robustos implica tener una mayor sección del acero, viéndose esto principalmente en los estribos.

#### 4.8.4 Precio total de cada edificio

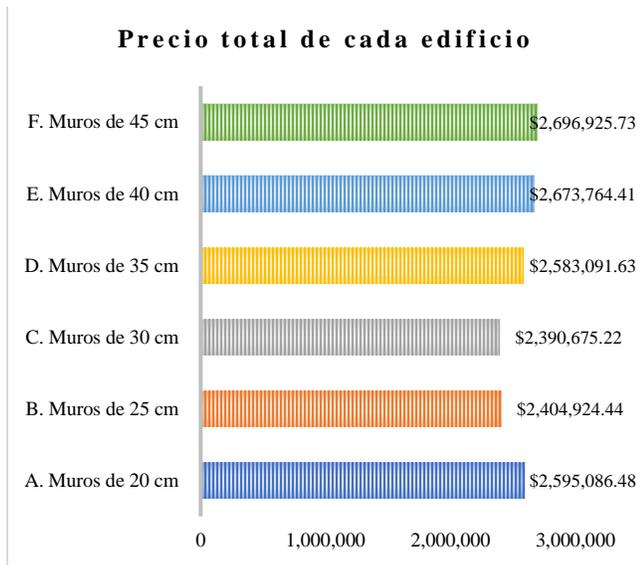


Figura 33: Precios totales que ocupan cada edificio.

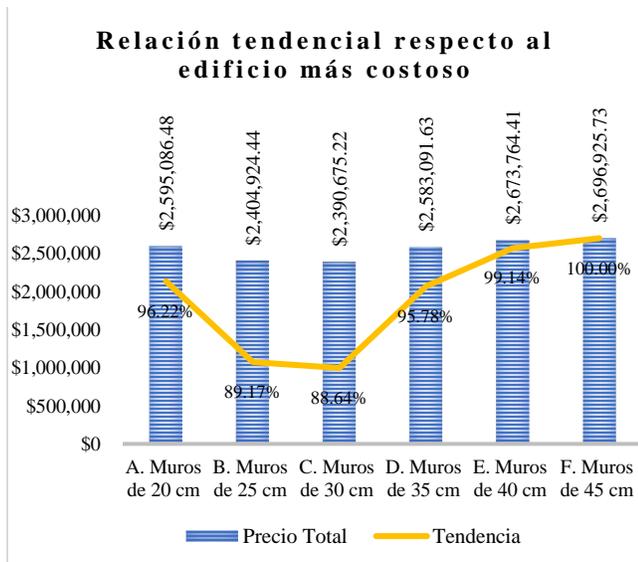


Figura 34: Relación de crecimiento que ha tenido cada edificio conforme cambió el espesor del muro de corte.

Con las **Figura 33**, **Figura 34** se determinó que el edificio más económico es la opción C cuando se utilizan muros con 30 cm de espesor.

Aunque se relaciona mucho con el edificio B, hubo una característica que ayudó a determinar su elección (esto se explica en la sección donde se verifica el peso de cada estructura).

La diferencia de costos entre los edificios B y C fue apenas de un 0.59% que corresponde a un monto de \$ 14.249,22 que en términos constructivos es un buen capital.

#### 4.8.5 Peso del hormigón y acero por cada edificio



Figura 35: Peso total del hormigón y acero por cada edificio.

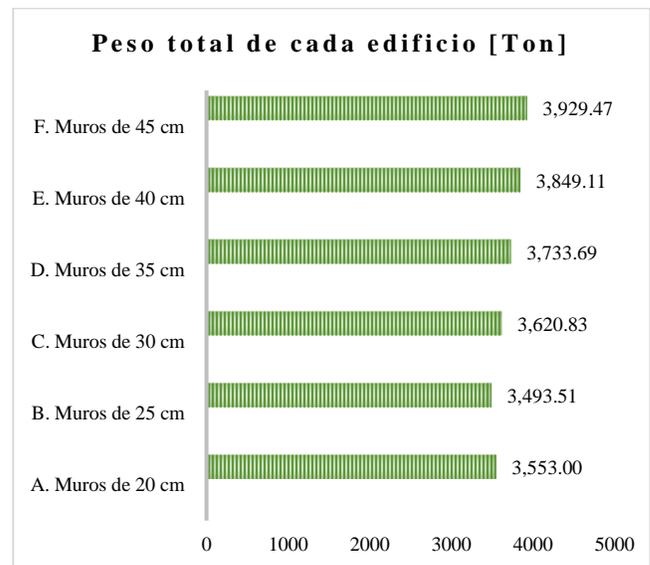


Figura 36: Peso total de cada edificio.

Con esta gráfica se ha determinado dos observaciones:

La primera observación es que la estructura con más peso es el edificio con muros de 45 cm con 3.929,47 Ton, mientras que, el edificio con menor peso es cuando los muros son de 25 cm, alcanzando un total de 3.553,00 Ton;

La segunda observación ya es en términos del presupuesto, pues revisando las figuras anteriores, siendo más específico, la figura 33 y 34, se ha determinado que el edificio C con muros de 30 cm es el más económico, pero en la figura 36 se muestra que no es el más liviano.

Lo que determinó a dicha estructura como la mejor opción fue la influencia del acero, ya que se registraron precios más altos de este material en el edificio B con muros de corte de 25 cm, con una diferencia de USD: \$ 26.411,60 respecto al modelo con muros de 30 cm.

#### 4.9 Influencia del acero en las losas

A medida que se ha desarrollado la investigación, se mencionó que las losas no mantienen un mismo costo, aun cuando se mantuvieron las cargas y la sección de losa para todos los edificios.

Lo cual hace inferir que cambiar las secciones de los elementos estructurales provoca que exista una ligera influencia en el acero de las losas aligeradas, notándose que la demanda de este material irá aumentando en cuanto los muros vayan teniendo un mayor espesor.

Estas diferencias se muestran tanto en las franjas de columnas como en los costados del muro de corte, pues sucede que al aumentar la sección del muro la viga será más delgada, por lo tanto, el hormigón ya no compensaría de la misma forma y para ello, el acero cubrirá esa solicitud restante.

#### Losa aligerada del edificio A, muros de 20 cm

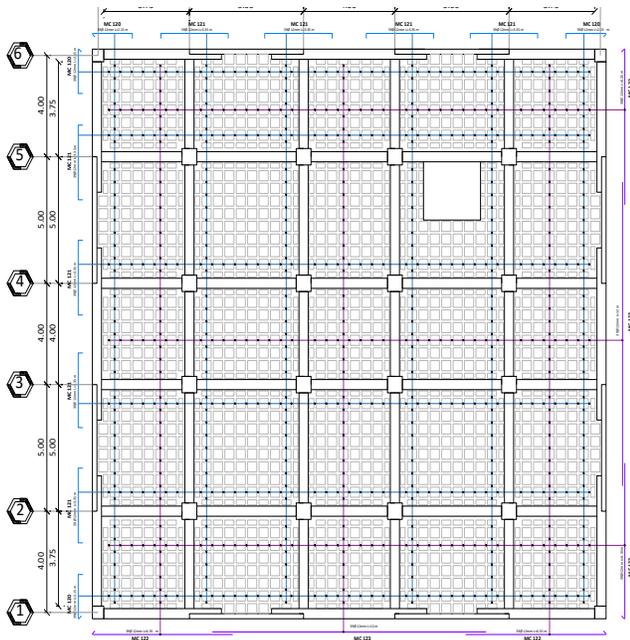


Figura 37: Acero en losa aligerada del edificio A cuando los muros de cortes son de 20 cm de espesor.

De acuerdo al análisis realizado en el software SAFE, cuando los muros son delgados, la losa solo ha requerido un acero con  $\varnothing = 12 \text{ mm}$  tanto en la parte superior e inferior

del nervio ya que se determinó que era suficiente para resistir las solicitaciones de cargas.

#### Losa aligerada del edificio E, muros de 40 cm

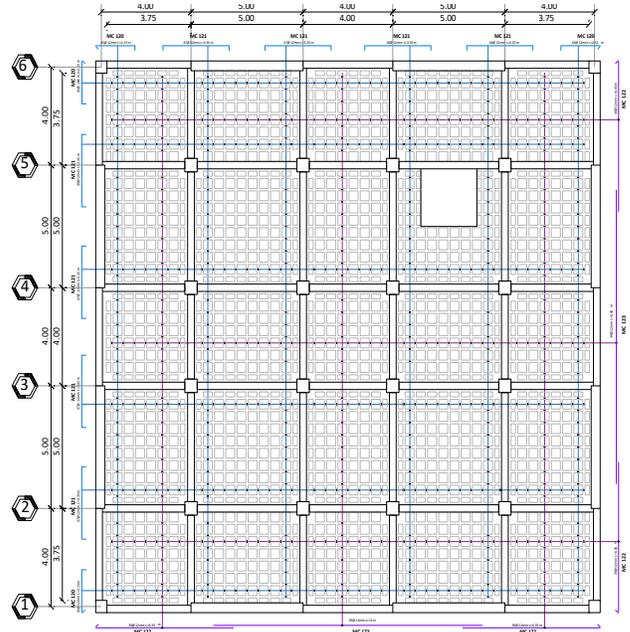


Figura 38: Acero en losa aligerada del edificio D cuando los muros de cortes son de 40 cm de espesor.

En esta losa también se asignó un acero de refuerzo con  $\varnothing = 12 \text{ mm}$  para la fibra inferior del nervio, la diferencia con la losa antes mencionada se presenta más acero de refuerzo en la fibra superior del nervio, viéndose esta necesidad en los costados del muro y en la franja de columna principalmente entre la conexión viga y columna.

### 5. Conclusiones

Como consecuencia de tener una deriva aproximada al 1,80% en los seis edificios de hormigón armado, no existen diferencias significativas en los modos de vibración, registrándose la mayor oscilación en el edificio A con muros de 20 cm con 1,06 segundos, mientras que, el menor ocurre en el modelo F con muros es de 45 cm con un periodo de 1,03 segundos.

Se presenta una ligera diferencia de resultados entre el máximo y el mínimo de los desplazamientos, registrándose que el edificio A es superior por un 3.95% respecto al último edificio F.

Se evidenció un aspecto bastante importante al determinar el peso de cada estructura, donde se pudo observar que el modelo con muros de 25 cm es el más liviano, pero no es el más económico. Sucede que el edificio C con muros de 30 cm tiene 129,30 ton más de concreto; en función de la

demanda de acero de refuerzo hay un decremento de 1.97 ton, lo cual indica, que el acero de refuerzo fue determinante como el modelo más económico estructuralmente.

De acuerdo a los análisis realizados se escogió al edificio C con muros de 30 cm como el más óptimo y para ello se tomaron dos aspectos importantes; el primero fue su comportamiento sísmico, que en comparativa a los otros modelos presenta resultados bastante similares tanto en periodos de vibración, desplazamiento y derivas; y como segundo punto, se determinó en función del presupuesto es el más económico llegando a alcanzar un total de USD: \$ 2`390.675,22.

## Referencias

- Comité ACI 318. (2019). Requisitos de reglamento para concretos estructurales. U.S.A: American Concrete Institute.
- Guerra, M., & Chacón, D. (2010). Manual para el diseño sismorresistente de edificios utilizando el programa ETABS 1ra edición.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). Diseño De Concreto Reforzado 10ª Edición. Alfaomega.
- Mejía, T. (2021). Estudio descriptivo. <https://www.lifeder.com/estudio-descriptivo/>
- NEC - SE - DS. (2015). Peligro sísmico, diseño sismo resistente. Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción).
- Villavicencio-Cedeño, E. G., Orejuela-Mendoza, I. C., Gallegos-Campos, C. G., & Regalado-Jalca, J. J. (2024). Análisis de uniones viga-columna en hormigón armado a través de Microsoft VBA. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 7(13 Ed. esp.), 115-135. <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13edesapab.0189>

## Contribución de los autores (CRediT)

**Constante-Castro, M.:** Conceptualización, Curación de contenidos y datos, Análisis formal de datos, Investigación, Metodología, Recursos materiales, Software, Validación, Visualización, Redacción – borrador original. **Villavicencio-Cedeño, E.:** Curación de contenidos y datos, Análisis formal de datos, Metodología, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.

## Nota del Editor

**Descargo de responsabilidad:** Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Derechos de autor 2025. Revista Científica FINIBUS - ISSN: 2737-6451.

Esta obra está bajo una licencia: Internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual .4.0