

# Influencia de los factores de carga en los costos iniciales de edificios de concreto reforzado

## Influence of load factors on the initial costs of reinforced concrete buildings

Juan Bojórquez<sup>1\*</sup>, Henry E. Reyes<sup>1</sup>, Edén Bojórquez<sup>1</sup>, Alfredo Reyes-Salazar<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este artículo se aborda la influencia que tienen los factores de carga en el diseño y costos de edificios de concreto reforzado ubicados en la ciudad de México. Para el diseño estructural se seleccionaron edificios de 4, 8 y 12 niveles ubicados en diferentes tipos de suelo, cada uno de los edificios fue diseñado con diferentes factores de carga. Los costos iniciales de las estructuras fueron obtenidos con base en la cantidad de los materiales de acero de refuerzo y concreto. Los resultados obtenidos en el estudio muestran la diferencia de costos al diseñar los edificios con la combinación de carga estipulada en las normas, y diseñar los edificios con combinaciones de carga en el cual los factores de carga incrementan su valor; además, se observa la influencia que tiene el tipo de suelo en los costos iniciales de las estructuras diseñadas.

Recibido: agosto 2021

Aceptado: noviembre 2021

Publicado: noviembre 2021

### Palabras clave:

Factores de carga, edificios de concreto, diseño sísmico, costos iniciales

### Keywords:

Load factors, reinforced concrete buildings, seismic design, initial costs

### ABSTRACT

This article addresses the influence of the load factors on the design and costs of reinforced concrete buildings located in Mexico City. For the structural design, buildings with 4, 8 and 12 story levels were selected and supposed to be located on different types of soil, each of the buildings was designed with different load factors. The initial costs of the structures were estimated based on the quantity of the reinforcing steel materials and concrete. The results obtained in the study show the difference in costs through the buildings designed with the load combination stipulated in the Mexico City standards and the buildings designed with load combinations in which the load factors increase their value; in addition, the influence that the type of soil has on the initial costs of the designed structures is observed.

## 1. INTRODUCCIÓN

El valle de México es de las zonas de mayor peligrosidad sísmica a nivel mundial, por lo que el reglamento para construcciones siempre ha buscado salvaguardar la integridad tanto de las estructuras como de sus ocupantes, modificando la zonificación del valle de México para fines de diseño sísmico. Por lo anterior, es importante conocer las características de la zonificación y enfocar la revisión de los factores que influyen en el diseño de las estructuras. En toda

\*Autor para correspondencia: Juan Bojórquez Mora  
Dirección de correo electrónico: [juanbm@uas.edu.mx](mailto:juanbm@uas.edu.mx)

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, FIC, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. C.P. 80040

construcción es importante cuantificar los costos para su edificación y verificar la seguridad estructural en el diseño. Los costos iniciales se pueden obtener en función de la estructuración de los edificios, el suelo donde se edifica y la combinación de los factores de carga, existen numerosos estudios donde se ha abundado sobre lo importante de considerar los costos en el diseño sísmico de las estructuras [1-9]. La seguridad de las construcciones de edificios en la ciudad de México está sujeta a la normatividad del reglamento de construcción de dicha ciudad [10]. Las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural especifican que la seguridad de las estructuras sujetas a cargas o acciones permanentes, variables y accidentales deben incrementarse multiplicando por un factor de carga. Para verificar la seguridad estructural cuando movimientos sísmicos sean tomados en cuenta, las normas especifican que se debe considerar un factor de carga de 1.1 que debe multiplicar las cargas muertas, vivas y cargas por sismo. El diseño de una estructura dependerá de las especificaciones de diseño, si se utilizan diferentes combinaciones de carga a los especificados en el reglamento de construcción de la ciudad de México (RCDF), el

diseño mostrará variaciones. Estas variaciones serán reflejadas en el volumen de los materiales, del cual depende el costo inicial total de una edificación. En este estudio se realiza una comparación de los costos iniciales totales del diseño de un conjunto de edificaciones en diferentes tipos de suelos y con diferentes factores de carga.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada se resume a continuación:

### 2.1 Características de las zonas de estudio

Los edificios a diseñar están ubicados en tres tipos de suelos de la ciudad de México. Estos suelos se caracterizan por la diferencia en su periodo, los cuales presentan un periodo  $T_s$  igual a 0.75, 2.0 y 3.0 segundos.

Los espectros de diseño que se ilustran en la Figura 1, se obtuvieron a partir de las normas técnicas complementarias para diseño por sismo [11], estos fueron utilizados para realizar los análisis sísmicos en las estructuras.

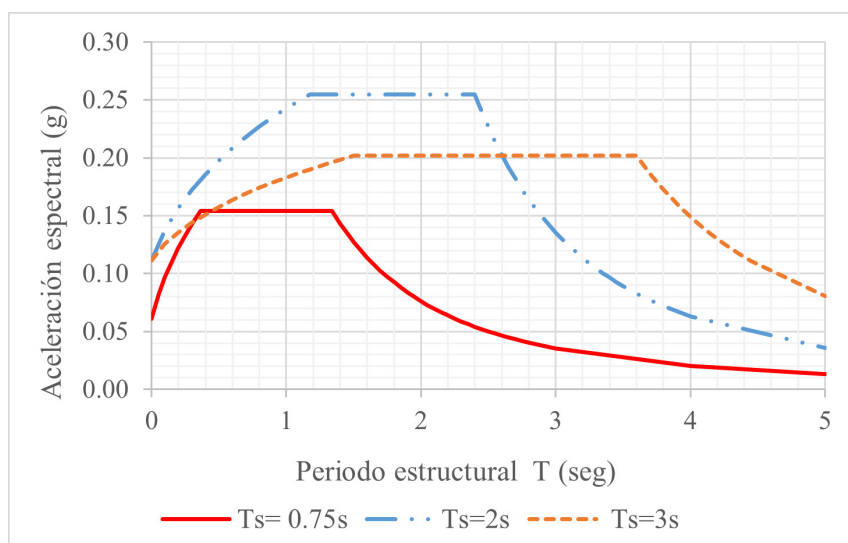


Figura 1: Espectros de diseño para los suelos utilizados.

## 2.2 Diseño de los edificios de concreto reforzado

### 2.2.1 Características de los edificios

Los edificios propuestos para el diseño tienen una elevación de 4, 8 y 12 niveles. Estos tienen una estructuración a base de marcos rígidos de concreto reforzado y losa de concreto maciza que hace la función de diafragma rígido. Los edificios están formados por tres crujeías en ambas direcciones espaciadas a una separación de 6m para edificios de 4 niveles, y separación de 8m para edificios de 8 y 12 niveles, con una altura de entrepiso de 4m para todos los edificios. En la figura 2 se muestra la planta y elevación tipo de los edificios estudiados.

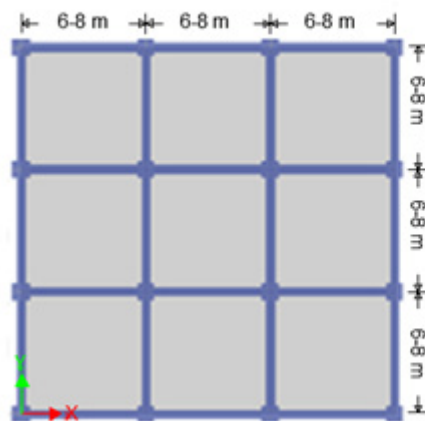
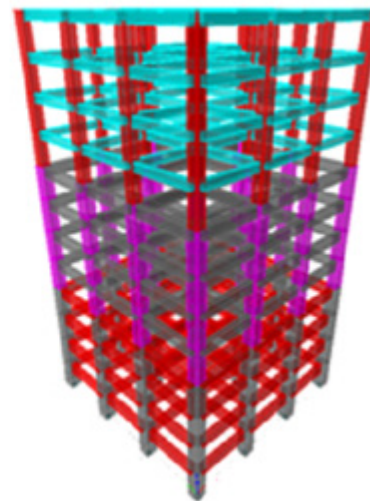


Figura 2: Planta y elevación de edificio de 12 niveles.

### 2.2.2 Especificaciones para el diseño estructural

Para los análisis sísmicos se tomó en cuenta un factor de comportamiento sísmico  $Q=2$  y una distorsión límite permisible de  $Y_{\max} = 0.015$ . Las estructuras se consideran regulares en planta y en altura por lo que el factor de irregularidad se consideró igual a la unidad. En el análisis estructural de los edificios no se consideraron los efectos de interacción suelo-estructura, de manera que los apoyos en la base de las columnas en los edificios fueron idealizados como empotramientos perfectos, el cual restringe los movimientos de rotación y translación en la base de las columnas respecto a los ejes coordenados X, Y, Z.



El diseño de los elementos se realizó siguiendo las especificaciones de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto [12]. Para el diseño se tomó en cuenta el efecto del agrietamiento reduciendo el momento de inercia de los elementos para el cálculo de las rigideces. El momento de inercia efectivo de las secciones columnas se consideró como el momento de inercia de la sección bruta multiplicado por un factor de 0.7, para

el caso de las secciones vigas el momento de inercia efectivo se consideró como el momento de inercia de la sección bruta multiplicado por un factor de 0.5.

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los elementos estructurales son especificadas a continuación:

→Concreto

•Peso volumétrico del concreto:  $\gamma_c = 2400 \frac{kg}{m^3}$

•Resistencia a compresión del concreto:  $f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}$

•Módulo de elasticidad del concreto:  $E_c = 221359 \frac{kg}{cm^2}$

→Acero

•Peso volumétrico del acero de refuerzo:  $\gamma_s = 7849 \frac{kg}{m^3}$

•Esfuerzo a la fluencia:  $f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$

•Módulo de elasticidad del acero de refuerzo:  $E_s = 2038901 \frac{kg}{cm^2}$

**Tabla 1: Cargas muertas de entrepiso.**

Carga	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]
Azulejo	40
Instalaciones	50
Losa	360
Muros ligeros	120
Nivelación piso	60
Plafón	40
Reglamento	40
<b>CM total de entrepiso</b>	<b>710</b>

### 2.2.3 Cargas actuantes para el diseño estructural

Las cargas permanentes fueron determinadas mediante un análisis de carga en el cual se tomó en cuenta el peso propio de la losa, muros, acabados y detalles, así como la carga adicional reglamentaria. Las tablas 1 y 2 muestran las cargas muertas de entrepiso y azoteas actuantes en todos los edificios.

Las cargas variables o vivas fueron obtenidas de las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones [13] tomando en cuenta el uso ocupacional de los edificios como oficinas.

### 2.2.4 Factores y combinaciones de carga

En el diseño de edificios el reglamento especifica que para revisar la seguridad de los elementos ante los estados límites de servicio de las estructuras sujetas a las acciones permanentes (CM), las acciones variables (Cv) y una acción accidental por sismo (Cs) deben incrementarse por un factor de carga (Fc). Las Normas

**Tabla 2: Cargas muertas de azotea.**

Carga	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]
Impermeabilización	60
Instalaciones	150
Losa	360
Pendiente de techo	100
Plafón	40
<b>CM total de azotea</b>	<b>710</b>

**Tabla 3: Cargas vivas utilizadas.**

Carga	Entrepiso [kg/m <sup>2</sup> ]	Azotea [kg/m <sup>2</sup> ]
Carga Viva (CV)	250	100
Cv instantánea	180	70

técnicas complementarias sobre criterio y acciones para el diseño estructural de las edificaciones [13] especifican que el factor de carga ( $F_c$ ) será:

- $FC= 1.3$  y  $F_c=1.5$  cuando la combinación incluye solo acciones permanentes y variables.
- $FC= 1.1$  cuando en la combinación interviene por lo menos una acción accidental.

Para el diseño de los edificios de este trabajo se utilizaron 25 combinaciones de cargas diferentes (Tabla 4). En estas combinaciones, los factores de carga fueron variando para una acción en específico. La primera combinación es la sugerida por el reglamento vigente, para el resto de las combinaciones se propuso hacer una variación de los factores de carga de la combinación 1. En las primeras 7 combinaciones se presenta una variación en los factores de la carga muerta ( $F_{CM}$ ), sucesivamente se modificó el factor de las acciones variables ( $F_{CV}$ ) en las 5 combinaciones siguientes, y por último se modificó el factor de carga accidental por sismo ( $F_{CS}$ ) en las últimas 13 combinaciones.

### 2.2.5 Elementos geométricos de los edificios diseñados

Se realizó el diseño estructural para cada tipo de edificios ubicados en los diferentes tipos de suelos y diseñados con cada una las diferentes combinaciones de carga (Tabla 4). De los diseños estructurales se obtuvieron las características de los elementos que conforman los edificios, vigas rectangulares y columnas cuadradas.

En las Tabla 5 y Tabla 6 se muestra una lista de los parámetros buscados en los diseños de los edificios. Estos parámetros son necesarios para cuantificar los materiales, concreto y acero de refuerzo de los edificios.

### 2.3 Costos iniciales de los edificios

Una vez diseñadas las estructuras se puede realizar una estimación del costo inicial en función del costo de los materiales que se emplearían para su construcción. El costo inicial de la estructura se puede calcular con base en el costo directo, costo indirecto y utilidad del contratista [14-15].

**Tabla 4: Variación de factores de carga en las combinaciones.**

Combinaciones de carga							
Combinación	$F_{CM}$	$F_{CV}$	$F_{CS}$	Combinación	$F_{CM}$	$F_{CV}$	$F_{CS}$
( $\gamma$ )				( $\gamma$ )			
<b>1</b>	<b>1.1</b>	1.1	1.1	<b>13</b>	1.1	1.1	<b>1.2</b>
<b>2</b>	<b>1.2</b>	1.1	1.1	<b>14</b>	1.1	1.1	<b>1.3</b>
<b>3</b>	<b>1.3</b>	1.1	1.1	<b>15</b>	1.1	1.1	<b>1.4</b>
<b>4</b>	<b>1.4</b>	1.1	1.1	<b>16</b>	1.1	1.1	<b>1.5</b>
<b>5</b>	<b>1.5</b>	1.1	1.1	<b>17</b>	1.1	1.1	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>2</b>	1.1	1.1	<b>18</b>	1.1	1.1	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>3</b>	1.1	1.1	<b>19</b>	1.0	1.0	<b>1.1</b>
<b>8</b>	1.1	<b>1.3</b>	1.1	<b>20</b>	1.0	1.0	<b>1.2</b>
<b>9</b>	1.1	<b>1.5</b>	1.1	<b>21</b>	1.0	1.0	<b>1.3</b>
<b>10</b>	1.1	<b>1.7</b>	1.1	<b>22</b>	1.0	1.0	<b>1.4</b>
<b>11</b>	1.1	<b>2</b>	1.1	<b>23</b>	1.0	1.0	<b>1.5</b>
<b>12</b>	1.1	<b>3</b>	1.1	<b>24</b>	1.0	1.0	<b>2</b>
				<b>25</b>	1.0	1.0	<b>3</b>

El costo directo considera el material y la mano de obra, que se aproxima a un 40 % del costo del material cuantificado para la construcción.

$$C_{DI} = 1.4C_M \quad (1)$$

Donde  $C_{DI}$ : Costo directo;  $C_M$ : costo del material

El costo indirecto ( $C_{IN}$ ) que es el gasto que se realiza en una obra por el contratista el cual no está incluido en el costo directo, pero es necesarios para la realización del proyecto. Para este trabajo se consideró como el 20 % del costo directo ( $C_{DI}$ ).

$$C_{IN} = 0.2C_{DI} \quad (2)$$

Donde  $C_{IN}$ : Costo indirecto.

La utilidad ( $U_M$ ), que representa la ganancia del constructor, se estimó como el 15% de la adición del costo directo ( $C_{DI}$ ) y el costo indirecto ( $C_{IN}$ ).

$$U_M = 0.15(C_{DI} + C_{IN}) \quad (3)$$

Donde  $U_M$ : Utilidad.

**Tabla 5: Parámetros de diseño en vigas.**

	Parámetro	Unidades
B	Base	cm
H	Peralte	cm
As ext <sub>sup</sub>	Acero en tensión	cm <sup>2</sup>
As ext <sub>inf</sub>	Acero en compresión	cm <sup>2</sup>
As cen <sub>sup</sub>	Acero en compresión	cm <sup>2</sup>
As cen <sub>inf</sub>	Acero en tensión	cm <sup>2</sup>
Sep ext	Separación de estribos (extremo)	cm
Sep cen	Separación de estribos (centro)	cm

**Tabla 6: Parámetro de diseño en columnas.**

	Parámetro	Unidades
Bx	Base	cm
Hy	Peralte	cm
As col	Acero longitudinal en la columna	cm <sup>2</sup>
Sep	Separación de estribos	cm

Como se considera el costo inicial de la estructura ( $C_I$ ) como la suma del costo directo, costo indirecto y utilidad, se puede representar de la siguiente forma:

$$C_I = C_{DI} + C_{IN} + U_M \quad (4)$$

Haciendo la conversión de la ecuación anterior:

$$C_I = C_{DI} + C_{IN} + U_M = 1.38C_{DI} = 1.93C_M \quad (5)$$

Donde  $C_I$ : Costo inicial.

En la Tabla 7 se muestran los precios unitarios de los materiales de construcción que fueron utilizados, el tipo de moneda utilizada en los precios es la moneda nacional en pesos mexicanos. Estos precios promedio eran lo presentes en el primer trimestre del año 2021 cuando se realizó el estudio.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron los costos iniciales de todos los diferentes edificios diseñados con las 25 combinaciones de carga diferentes ubicados sobre los tres tipos de suelos. Los costos iniciales fueron obtenidos utilizando la ecuación 5 para todos los edificios de concreto reforzado.

Al analizar la Tabla 8 se puede observar la variación de los costos iniciales cuando los edificios son diseñados en diferentes tipos de suelo y con la misma combinación. Se observa que en la mayoría de los casos existe una diferencia importante en los costos, de igual manera podemos ver que al incrementar ligeramente un mismo factor de carga los costos iniciales son similares a los costos de la primera combinación, también se presentan diferencias sustanciales en los costos cuando se duplica o triplica un factor de carga en el diseño.

En la tabla 9 se muestra un resumen de todos los periodos estructurales de los edificios diseñados ubicados en los tres tipos diferentes de suelos bajo las 25 combinaciones de cargas distintas entre sí. En la tabla se puede apreciar la variación de los periodos estructurales con referencia a la combinación de carga utilizada y al tipo de suelo donde se ubicó la estructura.

### 4. COMPARACIÓN DE LOS COSTOS INICIALES TOTALES DE LAS ESTRUCTURAS CON DIFERENTES FACTORES DE CARGA.

El diseño sísmico de los edificios según el RCDF especifica que debe utilizarse la combinación de factores de carga:  $1.1C_M \quad 1.1C_V + 1.1C_S$ ; estos factores de carga corresponden a la primera combinación utilizada para el diseño de los edificios. Se realiza una comparación de los costos iniciales de las estructuras (Tabla 8) que tienen el mismo número de niveles y diseñadas con la misma combinación de carga (Combinación 1), pero ubicadas en diferentes tipos de suelo, y se observó lo siguiente: de la comparación de los edificios ubicados en suelo con  $T_s = 2.0s$ , con estructuras desplantadas sobre suelo con  $T_s = 0.75s$ , se pudo observar que los costos iniciales son aproximadamente de un 30% a 270% mayor para estructuras sobre suelo con  $T_s = 2.0s$ . Por otro lado, al comparar los costos de los edificios desplantados en suelo con  $T_s = 3.0s$ , con estructuras desplantadas sobre suelo con  $T_s = 0.75s$ , se observó que los costos iniciales son aproximadamente de un 13% a 200% mayor para el suelo con  $T_s = 3.0s$ . Al hacer la comparación de los costos iniciales para estructuras que tienen el mismo número de niveles y combinación de carga ubicadas en suelo con  $T_s = 2.0s$ , con edificios ubicados sobre suelo con  $T_s = 3.0s$ , se observó que los costos iniciales son aproximadamente de un 17% a 27% mayor para el suelo con  $T_s = 2.0s$ .

Tabla 7: Costo unitario de los materiales.

Material	Precio \$
Concreto $f'c=250$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	2200 \$/m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo	23000 \$/Ton

**Tabla 8: Costos iniciales de los edificios diseñados con diferentes combinaciones de carga.**

Edificio	Suelo T=0.75 s.			Suelo T=2 s.			Suelo T=3 s.		
	4 Niv	8 Niv	12 Niv	4 Niv	8 Niv	12 Niv	4 Niv	8 Niv	12 Niv
Combo	Ci	Ci	Ci	Ci	Ci	Ci	Ci	Ci	Ci
	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)	MDP (\$)
1	1.94	7.173	12.137	2.53	14.401	32.765	2.157	11.64	25.75
2	2.042	7.585	11.98	2.476	14.299	32.777	2.194	12.068	25.528
3	2.024	7.983	12.049	2.421	14.372	33.102	2.145	12.111	25.396
4	2.039	8.647	12.368	2.504	14.236	33.258	2.151	12.041	25.463
5	2.033	9.132	13.063	2.512	14.081	33.413	2.148	12.364	25.501
6	2.113	11.867	17.474	2.47	15.418	38.352	2.228	12.768	27.615
7	2.405	15.819	34.045	2.773	18.19	45.965	2.409	16.111	39.519
8	1.945	7.502	12.165	2.534	14.684	32.975	2.161	11.747	25.9
9	2.042	7.532	11.98	2.476	14.629	33.015	2.126	11.599	25.897
10	2.021	7.596	12.012	2.48	14.709	33.045	2.13	12.095	25.88
11	2.023	7.815	12.053	2.42	14.677	33.148	2.135	12.122	25.896
12	2.058	9.104	13.234	2.507	14.393	33.026	2.106	12.295	26.188
13	2.058	7.821	11.951	2.621	15.323	35.665	2.155	12.15	27.897
14	2.135	8.042	11.972	2.792	15.545	37.356	2.401	13.135	30.219
15	2.237	8.461	11.941	2.819	16.699	40.427	2.435	13.736	30.74
16	2.335	9.877	12.192	2.874	17.74	41.602	2.486	14.656	32.815
17	2.695	15.673	15.807	3.291	22.292	53.207	2.762	17.488	43.365
18	3.529	22.049	60.036	4.322	29.938	90.148	3.503	24.656	71.824
19	1.947	6.577	11.091	2.521	14.367	32.604	2.129	11.872	25.699
20	2.054	6.734	11.372	2.765	15.012	35.107	2.184	12.212	27.735
21	2.149	6.992	11.311	2.769	15.675	38.219	2.254	13.169	29.667
22	2.196	8.006	11.454	2.664	16.685	40.472	2.32	13.69	31.371
23	2.303	8.339	11.645	2.871	17.304	41.095	2.364	14.796	32.557
24	2.625	15.793	13.831	3.507	21.216	53.228	2.769	18.339	42.178
25	3.626	22.026	60.161	4.383	29.61	90.857	3.544	23.796	72.045

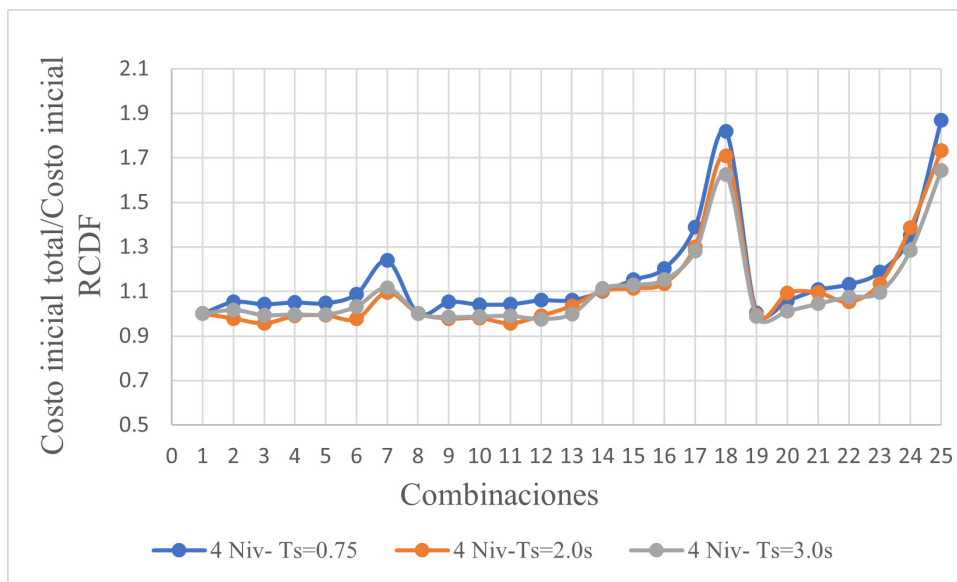


**Tabla 9: Resumen de los periodos fundamentales de las estructuras.**

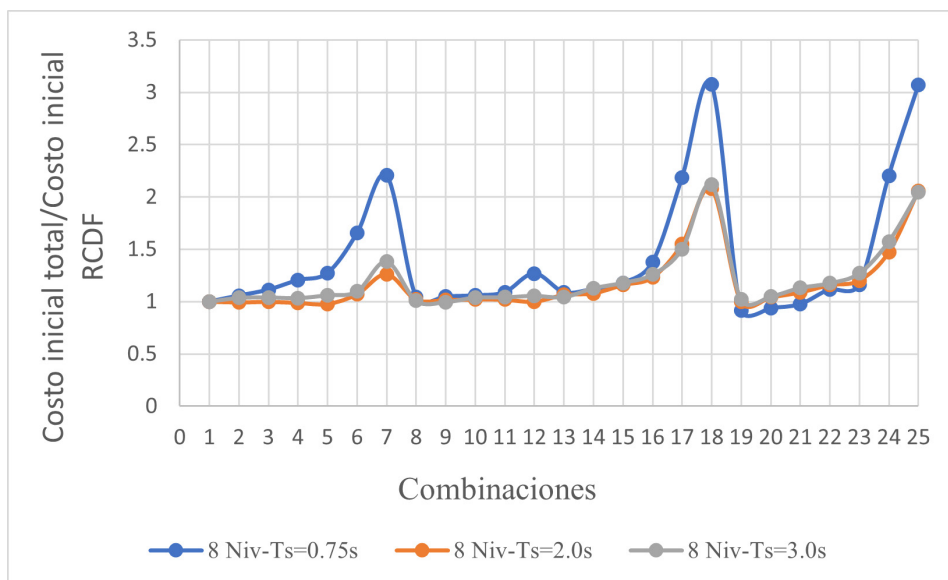
Edificio	Suelo T=0.75 s.			Suelo T=2 s.			Suelo T=3 s.		
	4 Niv	8 Niv	12 Niv	4 Niv	8 Niv	12 Niv	4 Niv	8 Niv	12 Niv
Periodo	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Combo	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.
1	1.13	2.13	3.34	1.01	1.07	1.26	1.08	1.33	1.39
2	1.13	2.08	3.32	0.97	1.07	1.23	1.09	1.3	1.33
3	1.08	2.01	3.32	0.92	1.07	1.17	1.01	1.37	1.33
4	1.06	1.74	3.12	0.91	1.07	1.16	1.01	1.31	1.33
5	1.01	1.75	2.9	0.91	1.12	1.16	0.9	1.31	1.28
6	0.89	1.29	2.32	0.75	0.96	1.04	0.85	1.15	1.26
7	0.71	1.05	1.17	0.68	0.81	0.92	0.71	0.94	1.05
8	1.13	2.12	3.34	1.01	1.11	1.25	1.08	1.35	1.37
9	1.13	2.08	3.32	0.97	1.11	1.25	1.04	1.35	1.34
10	1.08	2.08	3.32	0.97	1.11	1.25	1.04	1.3	1.34
11	1.08	2.01	3.32	0.92	1.11	1.25	1.04	1.3	1.34
12	0.95	1.74	2.77	0.87	1.04	1.2	0.9	1.27	1.3
13	1.08	2.08	3.32	0.97	1.06	1.13	1.04	1.33	1.32
14	1.08	2.08	3.32	0.94	1.04	1.1	1.04	1.27	1.26
15	1.06	1.99	3.26	0.88	1.02	1.02	1	1.24	1.21
16	1.01	1.7	3.26	0.85	0.93	1.01	0.91	1.06	1.17
17	0.88	1.05	2.45	0.67	0.73	0.81	0.73	0.91	0.94
18	0.62	0.8	0.7	0.52	0.58	0.53	0.59	0.66	0.66
19	1.19	2.59	4	1.01	1.07	1.26	1.1	1.39	1.39
20	1.13	2.53	4	1.02	1.05	1.16	1.04	1.33	1.38
21	1.08	2.44	4	0.97	1.04	1.09	1.04	1.29	1.38
22	1.08	2.04	4	0.88	1.02	1.02	0.93	1.24	1.32
23	1.06	2	3.73	0.85	0.98	1.02	0.9	1.1	1.3
24	0.87	1.05	3.17	0.67	0.8	0.81	0.75	0.93	0.98
25	0.7	0.8	0.7	0.53	0.59	0.53	0.58	0.72	0.66

El costo inicial total (CIT) de las estructuras diseñadas con cada combinación diferente se normalizó con base al costo inicial total del edificio diseñado con la combinación 1 (CIT RCDF). En la figura 3 se muestran los costos normalizados de los edificios de 4 niveles en el cual se observa una tendencia similar en los

costos para los edificios desplantados en los diferentes suelos. Los costos presentan una tendencia a elevarse como resultado del diseño de los edificios con combinaciones que utilizan mayores factores de carga, esto debido a la obtención de secciones más robustas en el diseño de elementos. La figura 4 presenta los costos



**Figura 3: Costo normalizado de edificios de 4 niveles.**



**Figura 4: Costo normalizado de edificios de 8 niveles.**

normalizados de los edificios de 8 niveles y la figura 5 los costos normalizados de los edificios de 12 niveles. Se observa en ambas figuras una tendencia bastante similar en el comportamiento de los costos; además, se puede apreciar para los dos tipos de edificios de 8 y 12 niveles que están diseñados en suelo  $T_s=0.75s$

los costos normalizados respecto a la combinación 1 tienen una mayor variación cuando se incrementan los factores de carga en las combinaciones, este comportamiento se puede atribuir a la influencia que tiene el tipo de suelo en los factores de carga con el cual se diseñó la estructura.

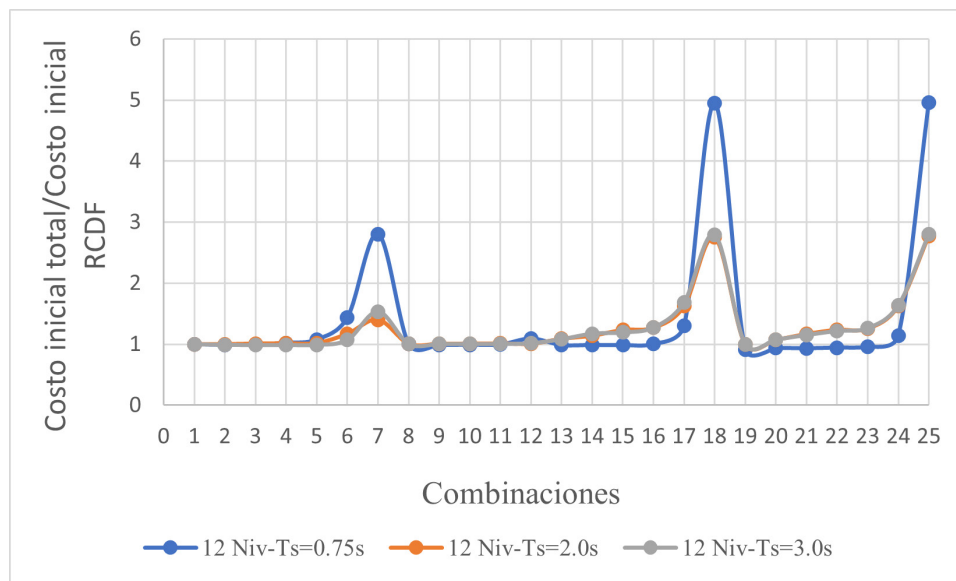


Figura 5: Costo normalizado de edificio de 12 niveles.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio sobre la influencia que tienen los factores de carga para diseño sísmico de edificios en los diferentes tipos de zonas sísmicas de la Ciudad de México. Para este objetivo, se utilizaron tres edificios de concreto reforzado de diferentes alturas, los cuales fueron diseñados con 25 combinaciones de carga utilizando para la combinación 1 los factores establecidos por el reglamento de construcción de la ciudad de México. De los resultados obtenidos, se observó que los costos iniciales de los edificios incrementan cuando la combinación de carga utilizada para el diseño de los edificios presenta factores de carga mayores que los estipulados por la normativa del reglamento; además, estos costos presentan una variación en función del suelo en el cual están desplantados los edificios, así como del número de niveles.

Los costos iniciales para edificios diseñados sobre un tipo de suelo varían aproximadamente un 20% cuando se modifican los factores de carga muerta y viva. Se observa que cuando se varían los factores de carga por sismo, el costo total puede elevarse hasta un 80% en comparación con la combinación de carga propuesta por el reglamento de la Ciudad de México. Además, al comparar un edificio ubicado en diferentes tipos de suelos diseñado con la misma combinación de carga, el costo inicial se incrementó en un intervalo del 30% al 200%.

Los costos obtenidos fueron normalizados con respecto a la combinación vigente. Los resultados sugieren que para los suelos  $T_s=2.0s$  y  $T_s=3.0s$  la tendencia en los costos con las diferentes combinaciones de carga no presentan mucha variación en comparación con el costo inicial de la combinación 1. Para el caso del suelo  $T_s=0.75s$ , se observó una mayor variación

en los costos al diseñar los edificios con las diferentes combinaciones. Con los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que existe una influencia directa del tipo de suelo tanto en los factores de carga como en los costos iniciales de los edificios, lo cual no se considera en la versión actual del reglamento de construcciones de la Ciudad de México.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló gracias al apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) bajo el proyecto Ciencia Básica 287103 y al apoyo de la beca de doctorado otorgada al autor Henry E. Reyes. Finalmente se agradece el apoyo recibido por parte de la Universidad Autónoma de Sinaloa dentro del proyecto PROFAPI 2022.

## REFERENCIAS

- [1] Thiruvengadam, V., Wason, J. C., & Gayathri, L. (2004, August). Cost modeling of reinforced concrete buildings designed for seismic effects. In 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada.
- [2] Thiruvengadam, V., & Guite, T. (2017). Quantity and cost modelling of reinforced concrete buildings of 12 to 20 storey designed for seismic effects. 16th World Conference on Earthquake, Santiago Chile.
- [3] Asamoah, R. O., Ankrah, J. S., Offei-Nyako, K., & Tutu, E. O. (2016). Cost analysis of precast and cast-in-place concrete construction for selected public buildings in Ghana. *Journal of Construction Engineering*.
- [4] Mubarak, M., Abdullah, A., Azmeri, A., & Hayati, Y. (2019). Cost Estimation of Structural Components of a Building by considering the Seismic Load on Different Regions. *Advances in Civil Engineering*.
- [5] Begum, M., Serajus, S. M., Tauhid, B. K. N., & Ahmed, W. (2013). Cost analysis of steel concrete composite structures in Bangladesh.
- [6] Tedia, A., & Maru, D. S. (2014). Cost, Analysis and Design of Steel-Concrete Composite Structure RCC Structure. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol.11, No.1, pp. 54-59.
- [7] Markou, G. (2021). A new method of seismic retrofitting cost analysis and effectiveness for reinforced concrete structures. *Engineering Structures*, vol. 246, pp. 113083.
- [8] Orellana, M. A., Ruiz, S. E., Bojórquez, J., Reyes-Salazar, A., & Bojórquez, E. (2021). Optimal load factors for earthquake-resistant design of buildings located at different types of soils. *Journal of Building Engineering*, vol. 34, pp. 102026.
- [9] Frangopol, D. M., Dong, Y., & Sabatino, S. (2017). Bridge life-cycle performance and cost: analysis, prediction, optimization and decision-making. *Structure and Infrastructure Engineering*, vol 13, No. 10, pp. 1239-1257.
- [10] Reglamento de construcción del Distrito Federal (2017). Administración Pública de la Ciudad de México. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, Jefatura de Gobierno, Ciudad de México, México.
- [11] Normas Técnicas complementarias para Diseño por Sismo (2020). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, México.
- [12] Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (2017). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, México.
- [13] Normas Técnicas complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño de Edificaciones (2017). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, México.
- [14] De León, D. (1991). Integrating socio-economics in the development of criteria for optimal aseismic design of R/C buildings. Tesis de Doctorado, University of California.
- [15] Bojórquez, J. (2016). Combinación de cargas para el diseño sísmico de edificios. Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [16] Bazán, E. y Meli, R (2013). Diseño sísmico de edificios. México, D.F. Editorial Limusa.