Revista Ciencia y Construcción

Vol. I (2020), No. 3, Septiembre-Diciembre, pp.44-54

ANÁLISIS SÍSMICO DE LA TORRE 2 DEL HOTEL 1RA Y D SEGÚN NC 46: 2017

Janet Otmara Martínez Cid[1], Aleksandra López Litvinovich[2], Tamara Fundora Dávalos[3].

[1]Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana ¨José Antonio Echeverría¨, Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: jcid@civil.cujae.edu.cu

[2]Ingeniera Civil, Máster en Ciencias, Universidad Tecnológica de la Habana ¨José Antonio Echeverría¨, Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: alopezl@civil.cujae.edu.cu

[3]Ingeniero Civil, Máster en Ciencias, Empresa de Proyectos de La Habana (EPROB), tfundora@eprob.cu

RESUMEN

El desarrollo de la construcción de edificios altos en Cuba requiere del estudio del comportamiento estructural de estas edificaciones bajo la acción de las cargas horizontales. Como parte de este avance constructivo se encuentra la edificación de aproximadamente 90 m de altura destinada a hotel ubicada en 1ra y D, La Habana, formada por columnas, tímpanos y entrepisos sin vigas. Debido a la altura de la edificación, la tipología estructural y la categoría ocupacional en la que clasifica, se realiza el análisis sísmico de la misma para la zona sísmica en la que se encuentra según la NC 46:2017.

*Se consideran los requisitos de configuración en planta y elevación establecidos en la norma, la determinación del período de oscilación, el desplazamiento en el tope de la edificación así como los desplazamientos relativos de los entrepisos. Se presenta el diseño estructural obtenido en columnas y tímpanos para las combinaciones pésimas de cargas. El edificio es modelado con el empleo del programa ETABS**. Se demuestra que no es necesario considerar el diseño sismorresistente a la edificación dada la zona sísmica en la que se ubica la misma.*

Palabras claves: análisis sismorresistente, edificios altos, ETABS.

SEISMIC ANALYSIS OF THE TOWER 2 OF THE HOTEL 1RA Y D ACCORDING TO NC 46:2017

ABSTRACT

The development of the construction of tall buildings in Cuba requires the study of the structural behavior of these buildings under the action of horizontal loads. As part of this construction progress is the building of approximately 90 m high for a hotel located in 1st and D, Havana, formed by columns, shearwalls and flat slabs. Due to the height of the building, the structural typology and the occupational category in which it classifies, the seismic analysis of it is carried out for the seismic zone in which it is, according to NC 46: 2017.

The configuration requirements in plan and elevation established in the code, the determination of the period of oscillation, the displacement in the top of the building as well as the drift stories are considered. The structural design obtained in columns and shearwalls for the lousy load combinations is presented. The building is modeled with the use of the ETABS program. It is demonstrated that it is not necessary to consider the seismic-resistant design of the building given the seismic zone in which it is located.

Keywords: seismic analysis, tall buildings, ETABS*.*

Nota Editorial: *Recibido: julio 2020; Aceptado: octubre 2020*

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido que el diseño de los edificios altos está regido por las cargas horizontales de viento o sismo. En el caso del sismo, se plantea que un diseño efectivo de la edificación debe incluir: una concepción estructural con un sistema resistente a cargas laterales que garantice que la edificación responda como una unidad cuando quede sujeta al movimiento del suelo; el análisis de la edificación para el efecto combinado de las cargas gravitatorias y sísmicas que confirme que la resistencia y rigidez lateral de la edificación son suficientes

para satisfacer, tanto el desempeño estructural, como las deformaciones laterales y derivas dentro de los rangos permisibles que estalecen los códigos vigentes; un detallado del refuerzo que asegure que la estructura pueda disipar energía con la posibilidad de experimentar deformaciones inelásticas [1], [2].

En la actualidad, los diseños arquitectónicos, no siempre responden a la regularidad estructural que se exige en la concepción de edificaciones que estarán sometidas a alguna acción sísmica. No obstante, el desarrollo de los métodos numéricos y la modelación computacional vinculada al estudio del comportamiento estructural hace que las irregularidades que puedan presentar estas edificaciones no se consideren como una limitante en el desempeño de las mismas ni como un error de diseño, siempre que sean adecuadamente consideradas y analizadas [3–5]. En este sentido está dirigido el presente trabajo.

Como parte del avance constructivo actual del país se encuentra el desarrollo de proyectos de edificios altos en La Habana. Entre estos se destaca una edificación de tipología mixta de hormigón armado que consta de dos torres de aproximadamente 90m de altura destinadas a hotel, ubicada en la intersección de 1ra y D en el municipio Plaza de la Revolución.

La actual norma cubana de sismo NC 46: 2017 [6] clasifica al municipio como zona sísmica 2 caracterizada por riesgo sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones. Se deben, por tanto, tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. La categoría ocupacional de la obra es importante lo que implica, atendiendo a la zona sísmica en la que está enclavada, la no necesidad de aplicar el diseño sismorresistente. No obstante, atendiendo a la altura de la edificación, la tipología estructural y la categoría ocupacional, se solicita por parte de la Empresa de Proyectos de La Habana (EPROB) realizar la revisión estructural de las dos torres considerando la carga sísmica acorde a la zona.

El trabajo que se presenta tiene el objetivo de realizar la caracterización sísmica de la torre 2 del hotel 1ra y D a partir del análisis de las irregularidades existentes en planta y elevación, así como la influencia de la carga sísmica en el diseño estructural de las columnas y los tímpanos para las secciones transversales propuestas por proyecto. Se aplicará el Método de Análisis Modal para la determinación de la carga sísmica y se realizará la modelación con el empleo del programa ETABS. Los resultados incluyen la determinación del período fundamental de oscilación, el desplazamiento en el tope de la edificación, así como los desplazamientos relativos de los entrepisos y las cuantías de acero requeridas para columnas y tímpanos para las solicitaciones correspondientes a las combinaciones que incluyen el efecto del sismo.

2. DESARROLLO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

El hotel se encuentra ubicado en la parcela 6, delimitada por las calles 1ra y 3ra, D y E en el Vedado, municipio Plaza de la Revolución, La Habana. El mismo se compone de varias estructuras separadas físicamente por juntas de dilatación. Se destacan el basamento, el edificio de parqueo y las torres. En el basamento se ubican las áreas de servicio, restaurantes, tiendas y la piscina. En las torres, el bloque habitacional así como restaurantes, pisos técnicos y los depósitos de agua.

La torre 2 tiene 26 niveles con una altura total de 92,16 m. La estructura de la misma consta de un núcleo central de tímpanos que constituyen fundamentalmente las cajas de los ascensores y de las escaleras, encargados de tomar las cargas horizontales y las cargas verticales que tributan. Presenta columnas como elementos portantes verticales y losas sin vigas en los entrepisos y las cubiertas, todo de hormigón armado “in situ”. La figura 1 muestra la planta típica y la elevación.

La sencillez, uniformidad y simetría de la construcción son aspectos básicos que contribuyen a reducir los riesgos de un mal comportamiento ante la acción de un sismo. Es importante garantizar estas características, en tanto que ello no entre en conflicto con las necesidades primarias de funcionamiento ni con requisitos estéticos esenciales.

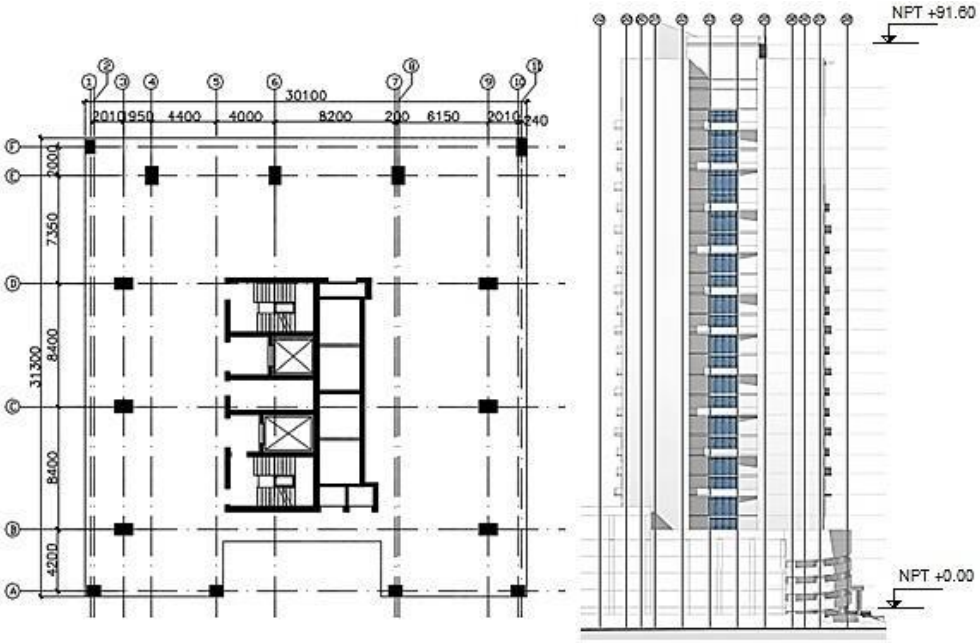


Figura 1: *Planta típica y elevación de la edificación analizada*

2.2 ANÁLISIS DE IRREGULARIDADES EN PLANTA Y ELEVACIÓN

Las irregularidades en la concepción estructural de edificaciones, ya sean en planta o elevación, están asociadas a una respuesta no uniforme de las mismas bajo la acción de la carga sísmica, debido justamente a la distribución no uniforme de las propiedades estructurales. Durante un evento sísmico, el negativo resultado de la presencia de irregularidades apreciables en elevación puede verse en la ocurrencia del llamado fenómeno de "piso suave". En el caso de la planta, la distribución irregular de resistencia o rigidez de los elementos verticales resulta en una respuesta torsional que provoca severos daños estructurales [7].

Se detallan las irregularidades de estructuración en planta y elevación que se evidencian en la torre y registradas en la NC 46: 2017 [6].

La edificación presenta tímpanos que proporcionan rigidez en las dos direcciones ortogonales con continuidad en toda la altura tomando el 100% de la carga lateral. Se evidencia una distribución asimétrica de los elementos verticales en los niveles superiores. Se ubica en el nivel 26 (+88,38 m) un depósito de agua hacia el extremo derecho de la planta que provoca una excentricidad apreciable en la misma. La tabla 1 muestra las coordenadas de los centros de masa (X_{CM}, Y_{CM}) y rigidez (X_{CR}, Y_{CR}) de los niveles superiores.

Tabla 1: *Coordenadas de los centros de masa y rigidez. Valores de excentricidad en la planta*

Nivel	X_{CM} (m)	Y_{CM} (m)	X_{CR} (m)	Y_{CR} (m)	e_x (m)	e_y (m)
Cubierta	14,20	13,55	14,59	13,00	-0,40	0,55
26	18,85	11,27	14,61	13,21	4,24	-1,94
25	17,82	9,94	14,54	13,60	3,28	-3,66
24	14,39	11,61	14,55	13,75	-0,15	-2,13
23	13,65	12,64	14,56	13,83	-0,91	-1,19
22	13,27	13,54	14,57	13,89	-1,30	-0,35
21	13,49	14,59	14,57	13,93	-1,08	0,67
20	14,34	15,34	14,58	13,95	-0,24	1,39
19	14,34	15,50	14,58	13,97	-0,24	1,54

Se evidencia (tabla 1) que las grandes excentricidades se ubican en los niveles 25 y 26 coincidiendo con la ubicación del depósito ya citado. El nivel 26 presenta, además, una reducción notable del área de piso.

Irregularidad de esquina entrante (H2 según la NC 46: 2017 [6]): Al menos una esquina del diafragma está recortada más del 25% en la dirección de análisis. La tabla 2 resume los resultados del análisis de la irregularidad.

Tabla 2: *Irregularidad de esquina entrante en los niveles superiores*

Sentido X	**a (m)**	**L (m)**	**0,25 L (m)**	**a>0,25 L**
Nivel 21 (+72.18)	8,50	31,00	7,75	Hay irregularidad
Nivel 22 (+75.42)	17,20	31,00	7,75	Hay irregularidad
Nivel 23 (+78.66)	26,00	31,00	7,75	Hay irregularidad
Sentido Y	**a (m)**	**L (m)**	**0,25 L (m)**	**a>0,25 L**
Nivel 21 (+72.18)	8,30	32,00	8,00	Hay irregularidad
Nivel 22 (+75.42)	8,30	32,00	8,00	Hay irregularidad
Nivel 23 (+78.66)	8,30	32,00	8,00	Hay irregularidad

La figura 2 evidencia la irregularidad anterior.

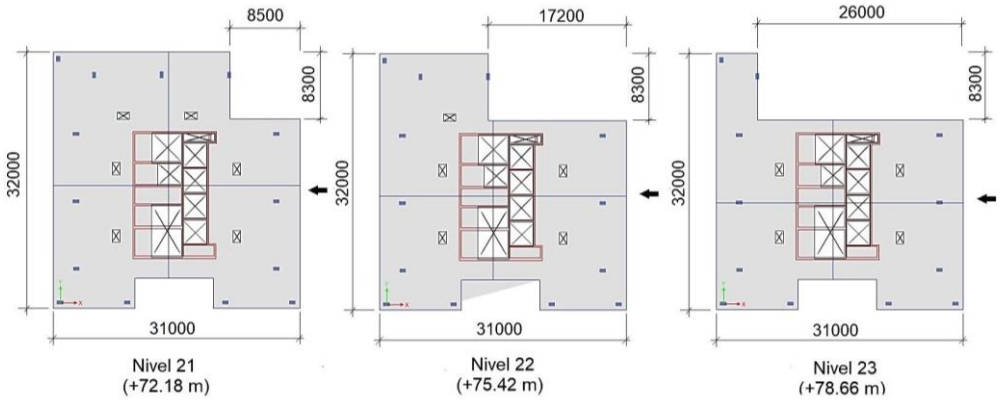


Figura 2: *Irregularidad de esquina entrante*

El procedimiento para el análisis sísmico establece [6] que atendiendo a las irregularidades y la altura de la edificación debe utilizarse un análisis de respuesta modal espectral o un análisis paso a paso de respuesta dinámica lineal o no lineal. En la edificación objeto de estudio del presente trabajo se emplea el análisis modal espectral.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Geometría

La geometría general del modelo responde a la requerida por arquitectura. Las luces alcanzan los 8,40 m y los puntales oscilan entre 3,20 m y 4,50 m según la función del entrepiso. Tanto las columnas como los tímpanos modifican su sección transversal con la altura. Las tablas 3 y 4 las detalla.

Tabla 3: *Secciones transversales de las columnas por niveles*

Niveles del modelo	**Secciones de columnas (mm)**
0-4	900 x 700
	1200 x 800
5-10	900 x 700
	1100 x 700
	900 x 800
11-15	900 x 700
	1000 x 600
	900 x 800
16-20	900 x 500
	900 x 600
	800 x 700
21-23	800 x 500
24-26	700 x 500
	800 x 500

Tabla 4: *Secciones transversales de los tímpanos por niveles*

Niveles del modelo	Secciones de tímpanos (mm)
0-5	350
6-14	300
15-Cubierta	250

Las losas tienen un espesor de 25 cm en los niveles habitacionales y 30 cm en los pisos técnicos.

Se reduce la rigidez de los elementos estructurales debido a las deformaciones que se esperan producir con niveles cercanos a la carga última [8]. Se estableció una reducción de 0,8 Ig para las columnas, 0,7 Ig para los muros y 0,5 Ig para las losas. Estos valores, más altos que los recomendados [8], responden al bajo riesgo sísmico de la zona 2 en la que se encuentra ubicada la edificación.

Material

El material a emplear tanto para columnas, losas y tímpanos es hormigón armado con una densidad de 24 kN/m^3. La resistencia a compresión (f´c) para las columnas, tímpanos y losas en todos los niveles será de 35 MPa y su módulo de elasticidad de 2,8 x10^4 MPa.

Condiciones de borde

Se establecen como condiciones de borde tímpanos empotrados en su base y continuos en toda la altura. Las columnas articuladas en la base y continuas en toda la altura y losas apoyadas directamente sobre las columnas continuas sobre los apoyos que funciona como un disco rígido.

Cargas

Se consideraron las cargas permanentes correspondientes a la NC 283: 2003 [9] y las cargas de uso según la NC 284: 2003 [10]**.**

La carga sísmica se determinó según la NC 46: 2017 [6].

El municipio Plaza de la Revolución, zona donde está ubicada la edificación, clasifica como zona sísmica 2.

- La categoría ocupacional es Categoría III: Obra importante.
- Nivel de sismo: básico.
- Clasificación del sitio: suelo C.
- S_S: Ordenada espectral de periodo corto (0,316).
- S_1: Ordenada espectral con periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés (0,077).

Se realiza el ajuste por clase de sitio mediante las ecuaciones (1) y (2):

$$S_{CS} = S_S \cdot F_a \quad (1)$$

$$S_{1S} = S_1 \cdot F_v \quad (2)$$

F_a: Coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos: 1,20

F_v: Coeficiente de sitio para periodos largos: 1,69

No requiere ser adicionalmente ajustado por intensidades sísmicas especiales ya que las fallas se encuentran a más de 15 km y no existe la posibilidad de intensidades incrementadas por vibración.

Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.

El espectro calibrado al nivel de diseño requerido se define por las ecuaciones (3) y (4):

$$S_{DS} = S_{CS} \cdot K_d \quad (3)$$

$$S_{D1} = S_{1S} \cdot K_d \quad (4)$$

S_{DS}: Aceleración espectral de diseño para período corto.

S_{1S}: Aceleración espectral de diseño para período largo.

K_d: Factor de escala: Sismo ordinario: 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años; K_d=0,66.

Para la edificación del caso de estudio se establece como nivel de desempeño sísmico el de ocupación

inmediata para un sismo ordinario, dado que la edificación cataloga como importante.

En la tabla 5 se aprecian los valores de S_{DS} y S_{1S} calibrados al nivel de diseño.

Tabla 5: *Coeficientes para el espectro calibrado al nivel de diseño requerido*

Nivel de desempeño	K_d	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)
Ocupación inmediata (sismo ordinario)	0,66	0,250	0,086

Periodos de esquina del espectro.

Los periodos de esquina del espectro se calculan por las ecuaciones (5) y (6):

$$\mathrm{To} = 0{,}2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5)$$

$$\mathrm{Ts} = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 5 * Ta \quad (6)$$

Ta, Ts: periodos de esquina del espectro.

La tabla 6 muestra los valores obtenidos.

Tabla 6: *Valores de periodo de esquina del espectro*

Nivel de desempeño	T_o (s)	T_s (s)
Ocupación inmediata (sismo ordinario)	0,069	0,343

T_L(s): Periodo de transición de periodo largo T_L(s) = 3,0 s.

Ordenadas espectrales ($S_{a(g)}$).

La figura 3 muestra los espectros de diseño horizontal y vertical obtenidos e implementados en el programa ETABS.

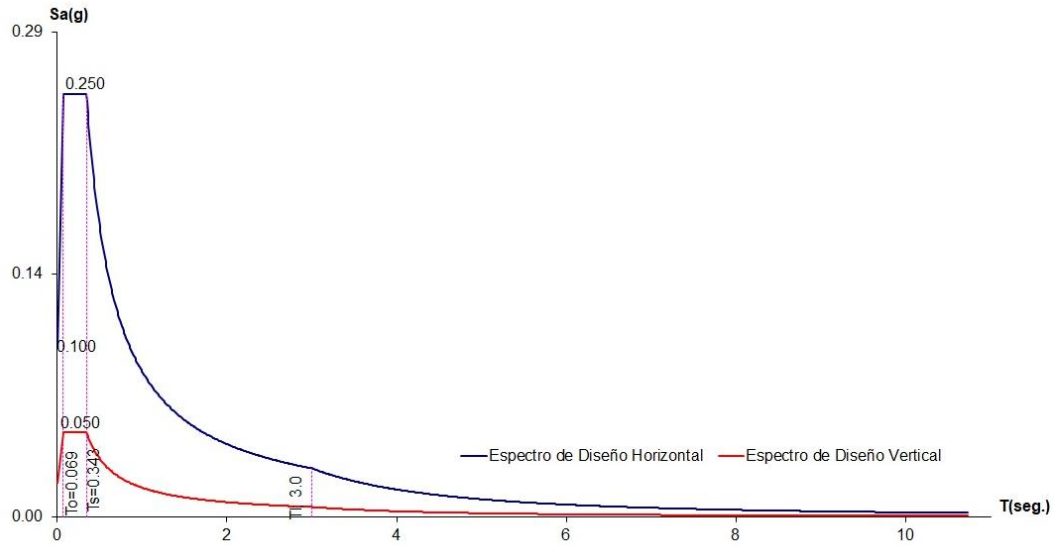


Figura 3: *Espectros de diseño horizontal y vertical de la zona sísmica de análisis*

Combinaciones de Carga NC 450: 2006 [11], NC 46: 2017 [6].

1,2 G + 1,6 Q + 0,5 Q_c

1,2 G + 0,5 Q + 1,6 Q_c

1,2 G + Q + S_v ± S_h

0,9 G - S_v ± S_h

Donde:

G: Carga permanente (entrepiso y cubierta).

Q: Carga de uso de entrepiso y balcones.

Q_c: Carga de uso de cubierta.

S_v: Componente vertical de la carga de sismo (espectro de diseño).

S_h: Componente horizontal de la carga de sismo (espectro de diseño).

La figura 4 muestra la planta típica y la elevación en el modelo final de la edificación.

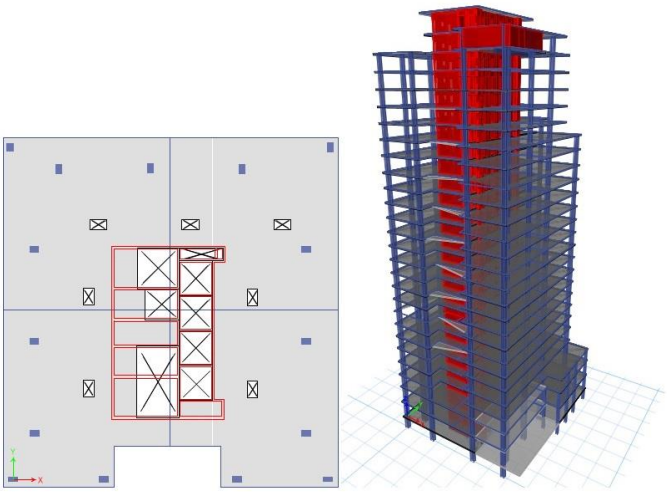


Figura 4: *Planta típica y elevación del modelo computacional en ETABS*

3. RESULTADOS

3.1 Periodo fundamental de vibración de la edificación (T).

La tabla 7 muestran los periodos de oscilación obtenidos para la combinación G+0,25Q según exige la NC 46: 2017 [6].

Tabla 7: *Períodos fundamentales de oscilación.*

Combinación	Modos	Periodos (s)
CP+0,25CU	1	2,34
	2	1,66
	3	1,31

Los periodos fundamentales en los tres primeros modos que responden a traslación en X y Y y rotación en Z son superiores a un 1seg lo que demuestra la necesaria realización de un análisis modal espectral. Los periodos obtenidos son aceptados por encontrarse en los rangos recomendados por la bibliografía consultada [8], [12] y no presentar peligro de existencia de correlaciones modales que traen consigo la amplificación de las ondas sísmicas que pueden llevar al colapso o provocar daños estructurales severos [13].

3.2 Estado Límite de Servicio

La deformación última (δ_u) después de haber incursionado al rango post-elástico se calcula según la ecuación (7):

$$\delta_u = C_d * \delta c \quad (7)$$

Donde:

δ_c: deformación elástica obtenida.

C_d: Coeficiente de amplificación de deformación lateral que depende de la tipología estructural de la edificación. C_d=5 [6].

Lo anterior se aplica tanto para el desplazamiento en el tope de la edificación como para las derivas.

3.3 Derivas

El límite de deriva es 0,020 h_p [6] siendo h_p la altura del piso que se analiza. La figura 5 muestra los gráficos de las derivas por pisos en los sentidos X y Y respectivamente.

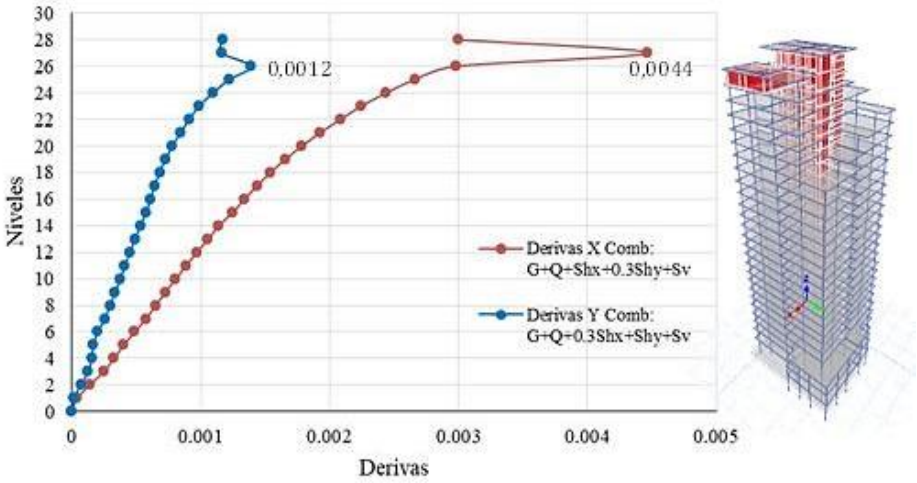


Figura 5: *Derivas en X y Y*

Los mayores valores reportados coinciden con el nivel donde se encuentra concentrada la mayor masa, dada por la presencia de un depósito de agua. No se supera la deriva permisible de 0,002.

3.4 Desplazamientos en el tope de la edificación

La tabla 8 muestra los valores obtenidos y el desplazamiento permisible que establece la norma.

Tabla 8: *Desplazamientos en el tope de la edificación (combinación G + Q + S_{hx}+ 0.3 S_{hy}+ S_v)*

Desplazamiento X (cm)	Desplazamiento Y (cm)	Desplazamiento permisible H/600 (cm)
13,8	11,9	15,1

En ningún caso se supera el valor máximo permisible.

3.5 Estado Límite Último

Diseño de los elementos estructurales: ACI318-14 [8], NC 207: 2019 [14].

La tabla 9 resume el resultado del diseño por flexocompresión para las columnas en la altura de la edificación.

Tabla 9: *Refuerzo por flexocompresión en las columnas para las combinaciones pésimas señaladas*

Niveles	b(cm)	h(cm)	Combinación de cargas	As (cm^2)	No. Barras refuerzo simétrico (Ø25)
N00-N04	120	80	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	96	20
	70	90	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	63	14
	50	50	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	25	6
N05-N10	110	70	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	77	16
	80	90	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	72	14
	90	70	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	63	14
N11-N15	100	60	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	60	12
	90	70	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	63	14
	80	90	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	72	16
N16-N20	90	50	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	45	10
	90	60	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	54	12
	70	80	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	56	12
N21-N23	80	50	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	40	10
N24-N26	70	50	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	35	8
	80	50	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	40	8

La figura 6 muestra la distribución del refuerzo en las columnas.

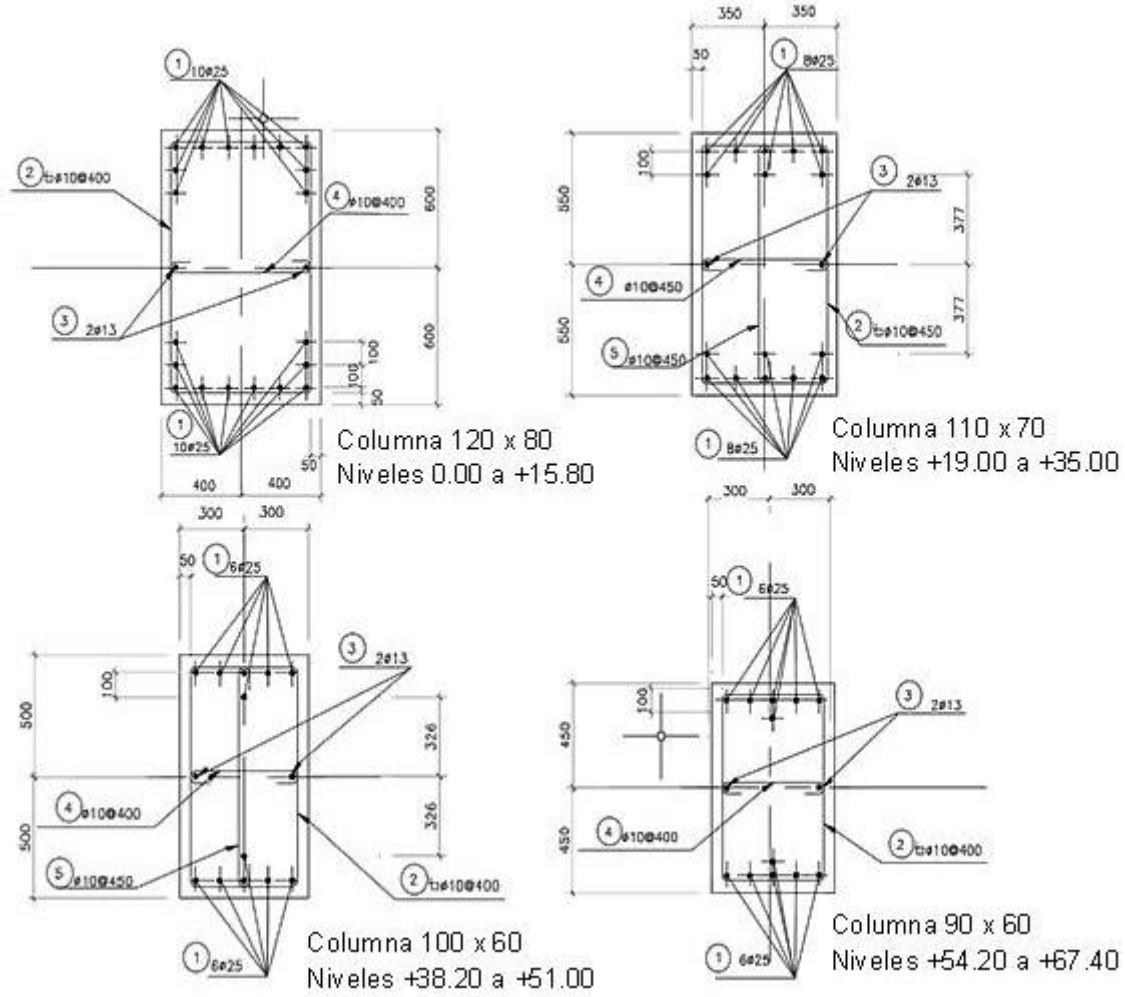
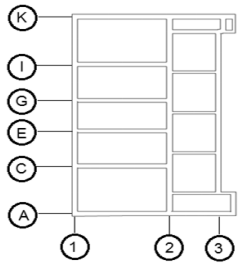


Figura 6: *Secciones transversales de las columnas más esforzadas por niveles*

La tabla 10 resume el resultado del diseño estructural de los tímpanos.

Tabla 10: *Refuerzo obtenido en los tímpanos para las combinaciones señaladas*

	Ejes	Combinaciones de cargas	Refuerzo obtenido Número de barras Ø 25		
			Niveles 0-5	Niveles 6-14	Niveles 15-26
	Eje 1	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	22	14	16
	Eje 2	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	15	14	12
	Eje 3	1,2G+Q+Shx+0,3Shy+Sv	18	16	14
	Eje A	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	10	8	7
	Eje C	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	10	8	7
	Eje E	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	8	8	7
	Eje G	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	8	8	7
	Eje I	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	10	8	7
	Eje K	1,2G+Q+0,3Shx+Shy+Sv	14	16	12

La figura 7 muestra la distribución del refuerzo de los tímpanos de los niveles 0 al 5 para los ejes 1, 2 y 3.

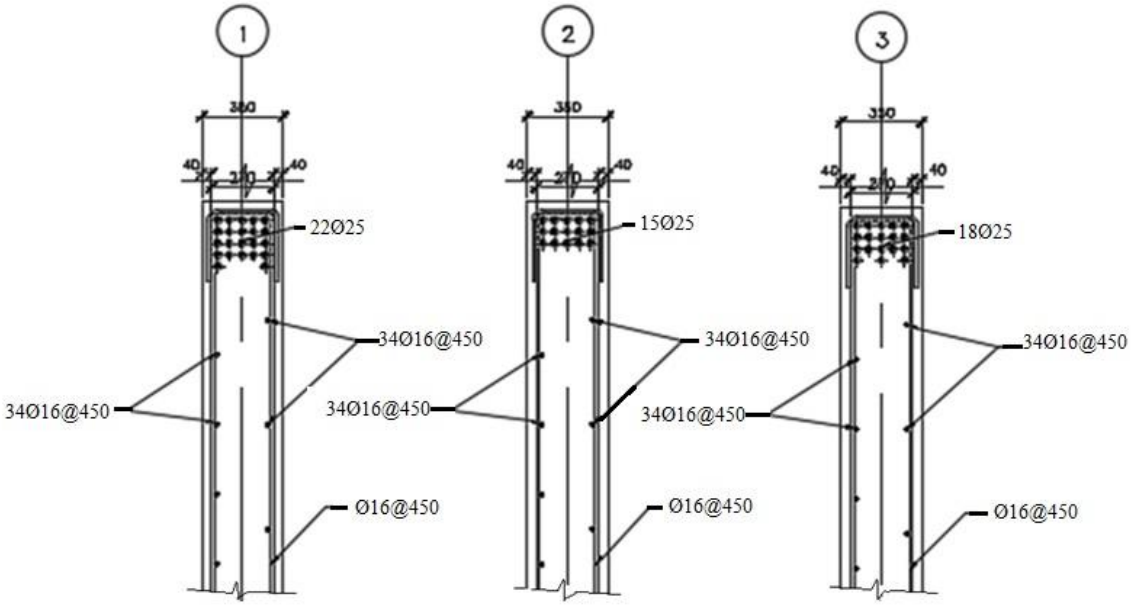


Figura 7: *Refuerzo de los tímpanos de los niveles 0 al 5*

Las secciones transversales propuestas tanto para columnas como tímpanos responden a cuantías mínimas de diseño.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten establecer que la edificación presenta irregularidades en la concepción en planta y elevación en los niveles superiores, según los requisitos que exige la NC 46: 2017. Estas irregularidades no influyen de manera negativa en la respuesta estructural frente a la acción sísmica correspondiente a la zona en la que se encuentra ubicada la edificación. Los valores de desplazamientos y derivas acordes a la combinación de cargas con el efecto de la acción sísmica se encuentran en los límites permisibles. El diseño estructural de columnas y tímpanos responden a cuantías por especificación, dada las dimensiones de las secciones transversales que se propusieron por proyecto. Lo anterior permite afirmar que la edificación ofrece una excelente respuesta estructural para las combinaciones de cargas analizadas. No se requiere del diseño sismorresistente de la edificación, debido a los bajos valores de carga sísmica que se originan por la zona en la que se encuentra ubicada la misma.

5. REFERENCIAS

[1] S. Abbood, S. E. Diwan, M. Mahmod, A. N. Hanoon, M. S. Jaafar, M. H. Mussa, and S. Township, “Seismic Response Analysis of Linked Twin Tall Buildings With Structural Coupling,” *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 9, no. 11, pp. 208–219, 2018.

[2] E. Ravikumar, M. Tech, and V. College, “Seismic Analysis of Tall Building for Different Earthquake Zones,” *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, vol. 5, no. 4, pp. 134–138, 2017.

[3] J. Baker, J. Bray, J. Maffei, and S. Mahin, “Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings,” Report No. 2017/06, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), California 2017.

[4] Y. M. Abdelbasset, S. Mourad, and E. Y. Sayed-ahmed, “Seismic Analysis of High-Rise Buildings with Transfer Slabs : State-of-Art,” *Electronic Journal of Structural Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 38–51, 2016.

[5] S. Malla, S. Karanjit, P. Dangol, and D. Gautam, “Seismic Performance of High-Rise Condominium Building during the 2015 Gorkha Earthquake Sequence,” *Buildings*, vol. 9, no. 36, p. 11, 2019.

[6] NC 46: 2017, “Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción,” ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 2017.

[7] S. Hallale and H. Sharada, “Seismic Behavior of Buildings with Plan Irregularity with and Without Structural Infill Action Seismic Behavior of Buildings with Plan Irregularity with and Without Structural Infill Action,” *International Journal of Recent Advances in Engineering & Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 97–101, 2016.

[8] ACI 318-14, “Building Code Requirements for Structural Concrete,” 2014.

[9] NC 283: 2003, “Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño,” ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 2003.

[10] NC 284: 2003, “Edificaciones. Carga de uso,” ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 2003.

[11] NC 450: 2006, “Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones.,” ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 2006.

[12] P. Velani and P. K. Ramancharla, “New empirical formula for fundamental period of tall buildings,” presented at the16 th World Conference on Earthquake, Santiago de Chile, 2017.

[13] T. Saito, “Response of High-Rise Buildings under Long Period Earthquake Ground Motions,” *International of Structural and Civil Enginnering*, vol. 5, no. 4, pp. 308–314, 2016.

[14] NC 207: 2019, “Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón,” ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 2019.